



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Návrh analytického nástroje pro
multikriteriální rozhodování v HTA**

**Draft analytical tools for multi-criteria
decision-making in HTA**

Diplomová práce

Studijní program:	Biomedicínská a klinická technika
Studijní obor:	Systémová integrace procesů ve zdravotnictví
Autor diplomové práce:	Bc. Jiří MILLEK
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Ivana KUBÁTOVÁ, Ph.D.

Kladno 2017

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2016/2017

Z a d á n í d i p l o m o v é p r á c e

Student: **Bc. Jiří Millek**
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví
Téma: **Návrh analytického nástroje pro multikriteriální rozhodování v HTA**
Téma anglicky: Draft analytical tools for multi-criteria decision-making in HTA

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce je návrh analytického nástroje pro multikriteriální rozhodování (dále jen MCDA) pro potřeby HTA v prostředí MATLAB. Na základě současného stavu **problematiky** analyzujte metody MCDA s ohledem na vstupní data a **algoritmickou** náročnost. Zaměřte se na tvorbu grafických výstupů a proveďte citlivostní analýzu vytvořených funkcí. Pomocí procesních map a vývojových diagramů popište hierarchii dat a výpočtů samotného analytického nástroje. Samotný algoritmus pak aplikujte na konkrétním příkladu zdravotnické techniky.

Seznam odborné literatury:

- [1] EUnetHTA, HTA Core Model Handbook, 26_1_2016, <http://mekat.hl.fi/htacore/ViewHandbook.aspx>
- [2] Fábry, J., Matematické modelování, Professional Publishing Praha, 2011, ISBN 9788024512662
- [3] Goddman, C.S., HTA 101 - Introduction to health technology assessment, Virginia USA, 2004

Vedoucí: Ing. Ivana Kubátová, Ph.D.

Zadání platné do: 20.08.2018

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 20.02.2017

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Návrh analytického nástroje pro multikriteriální rozhodování v HTA“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně 19. 5. 2017

.....

Bc. Jiří MILLEK

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucí práce za odborné vedení a pomoc při přípravě a realizaci práce jakož i při získávání obtížně dostupné literatury. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za její trpělivost a podporu nejen při tvorbě této diplomové práce, ale i při celém studiu. A dík patří i mému zaměstnavateli (Ústřední vojenské nemocnici – Vojenské fakultní nemocnici Praha) za umožnění studia při zaměstnání.

ABSTRAKT

Cílem práce bylo vytvořit nástroj pro podporu rozhodovacího procesu HTA využívající MCDA v prostředí MATLAB. Na základě analýzy multikriteriálních a normalizačních metod a studiu HTA dat byl navržen a realizován analytický nástroj pro podporu multikriteriálního rozhodování v HTA. Analyzovány byly tři metody MCDA a osm normalizačních. V nástroji jsou implementovány tři analyzované metody MCDA a šest normalizačních, z nichž jedna vznikla vlastní úpravou jedné testované metody pro účely HTA, zbylé normalizační metody nebyly zařazeny. Nástroj je rozšířen o dvě metody citlivostní analýzy (váhová pro metodu TOPSIS a minmax pro všechny použité metody MCDA). Navržená struktura HTA dat umožňuje dávkové zpracování dat i případné další rozšíření nástroje o jiné MCDA metody či fuzzy techniky bez nutnosti úpravy této datové struktury. Činnost nástroje je prezentována na modelovém souboru HTA dat. V diskuzi jsou shrnuty výsledky analýz i funkce nástroje a navrženy další směry rozvoje nástroje pro MCDA. Nastíněna byla potřeba dalšího zkoumání interpretace výsledků MCDA a vlivu struktury vah na výsledek MCDA.

Klíčová slova

MCDA, MCDM, TOPSIS, SAW, WPM, MATLAB, Minkowski, Weitendorf, Jüttler-Körth, van Delft-Nijkamp, Peldschus, Zavadskas-Turskis

ABSTRACT

The aim of thesis was to create the tool for supporting the decision process of HTA using MCDA methods in the MATLAB environment. Development of the tool is based on the analysis of multi-criterial and normalization methods. Three MCDA methods and eight standardization methods were analyzed. Three analyzed MCDA methods and six standardization methods are implemented in the tool, one of normalization method was customized by author due to non-compliant results this method before its adjustment, and other tested non-compliant methods were eliminated. The tool was expanded by two sensitivity analysis methods (weight analysis for TOPSIS and minmax analysis for all used MCDA methods). The HTA data structure has been designed for the tool with the possibility of further expanding by the Fuzzy-techniques without any modification of data structure. The behavior of tool is presented on a file of model HTA data. In the discussion was summarized the results of the analysis and tool application and suggested further directions for tool development for MCDA. There was a need for a further study of the interpretation of MCDA results and the effect of the weight structure of HTA data on MCDA result.

Keywords

MCDA, MCDM, TOPSIS, SAW, WPM, MATLAB, Minkowski, Weitendorf, Jüttler Körth, van Delft Nijkamp, Peldschus, Zavadskas-Turskis

Obsah

Obsah	7
Seznam symbolů a zkratek.....	10
Seznam tabulek	10
Seznam grafů.....	11
1 Úvod	14
1.1 Přehled současného stavu	15
1.2 Cíle práce.....	16
1.3 Postup řešení úkolů diplomové práce.....	16
1.4 Analýza HTA informací.....	17
1.5 Analýza normalizačních metod	18
1.5.1 Minkowski (vektorová normalizace).....	18
1.5.2 van Delft-Nijkamp (metoda min-max).....	19
1.5.3 Weitendorf.....	19
1.5.4 Jüttler-Körth	20
1.5.5 Jiné studované normalizační metody.....	20
1.6 Analýza metod MCDA.....	21
1.6.1 TOPSIS.....	21
1.6.2 SAW	23
1.6.3 WPM.....	23
1.6.4 Jiné studované metody MCDA	23
1.6.5 Citlivostní analýza	25
2 Metody	26
2.1 Návrh zpracování a úprav metod MCDA	26
2.2 Návrh zpracování a úprav normalizačních metod.....	26
2.2.1 Minkowski (vektorová normalizace).....	26
2.2.2 van Delft-Nijkamp (min-max normalizace)	26
2.2.3 Weitendorf (lineární normalizace)	26
2.2.4 Jüttler-Körth (normalizace)	27
2.3 Návrh struktury dat HTA	27
2.4 Citlivostní analýza.....	28

2.4.1	Váhová citlivostní analýza	28
2.4.2	Citlivostní analýza minim a maxim.....	29
2.5	Návrh algoritmu nástroje pro MCDA	29
2.5.1	Koncepce funkce f_{mcda}	30
2.5.2	Dílčí funkce - <i>TOPSIS</i>	32
2.5.3	Dílčí funkce - <i>SAW</i>	33
2.5.4	Dílčí funkce - <i>WPM</i>	33
2.5.5	Dílčí funkce – <i>SA_weight</i>	35
2.5.6	Dílčí funkce – <i>SA_minmax</i>	37
2.5.7	Dílčí funkce – discr-stat.....	39
2.5.8	Dílčí funkce - podpůrné.....	39
3	Výsledky.....	41
3.1	Testování normalizačních metod	41
3.1.1	Sada hodnot X1	43
3.1.2	Sada hodnot X2	45
3.1.3	Sada hodnot X3	46
3.1.4	Sada hodnot X4	46
3.1.5	Sada hodnot X5	49
3.1.6	Sada hodnot X6	50
3.1.7	Sada hodnot X7	53
3.2	Testování funkce f_{mcda} pro MATLAB	54
3.2.1	<i>TOPSIS</i>	56
3.2.2	<i>SAW</i>	57
3.2.3	<i>WPM</i>	58
3.2.4	Normalizační metoda Minkowski	59
3.2.5	Normalizační metoda van Delft-Nijkamp	59
3.2.6	Normalizační metoda van Delft-Nijkamp ver 2	60
3.2.7	Normalizační metoda Weitendorf	61
3.2.8	Normalizační metoda Jüttler-Körth	61
3.2.9	Normalizační metoda Jüttler-Millek.....	62
3.2.10	Normalizace podle jednotlivých kritérií	63
3.2.11	Váhová citlivostní analýza <i>TOPSIS</i>	68

3.2.12	Citlivostní analýza minmax	71
3.2.13	Statistická analýza	75
4	Diskuse	76
4.1	Normalizační metody	76
4.2	Multikriteriální metody	77
4.3	Citlivostní analýzy	79
4.4	Statistická analýza	80
4.5	Další výzvy	81
5	Závěr	82
	Seznam použité literatury	84
	Příloha A. Tabulky	87
	Příloha B. Obsah přiloženého CD	102

Seznam symbolů a zkratek

Seznam zkratek

	Positive Ideal Solution, 22
HTA	
Health technology assessment, 14	SAW
	Simple Additive Weighting, 14
MCDA	
Multiple-Criteria Decision Analysis, 14	WPM
MCDM	Weighted product model, 14
Multiple-Criteria Decision-Making, 14	WSA
	Weighted Sum Analysis, 14
NIS	WSM
Negative Ideal Solution, 22	Weighted Sum Model, 14
PIS	

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Sady hodnot pro testování normalizačních metod.....	42
Tabulka 3.2 Přehled souboru HTA dat testovaných ve funkci f_mcdm.....	55
Tabulka 3.A.1 Přehled normalizovaných hodnot sady X1 typ benefit.....	87
Tabulka 3.A.2 Přehled normalizovaných hodnot sady X1 typ cost	87
Tabulka 3.A.3 Přehled normalizovaných hodnot sady X2 typ benefit.....	88
Tabulka 3.A.4 Přehled normalizovaných hodnot sady X2 typ cost	88
Tabulka 3.A.5 Přehled normalizovaných hodnot sady X3 typ benefit.....	89
Tabulka 3.A.6 Přehled normalizovaných hodnot sady X3 typ cost	89
Tabulka 3.A.7 Přehled normalizovaných hodnot sady X4 typ benefit.....	90
Tabulka 3.A.8 Přehled normalizovaných hodnot sady X4 typ cost	90
Tabulka 3.A.9 Přehled normalizovaných hodnot sady X5 typ benefit.....	91
Tabulka 3.A.10 Přehled normalizovaných hodnot sady X5 typ cost.....	91
Tabulka 3.A.11 Přehled normalizovaných hodnot sady X6 typ benefit.....	92

Tabulka 3.A.12 Přehled normalizovaných hodnot sady X6 typ cost.....	92
Tabulka 3.A.13 Přehled normalizovaných hodnot sady X7 typ benefit.....	93
Tabulka 3.A.14 Přehled normalizovaných hodnot sady X7 typ cost.....	93
Tabulka 3.A.15 MCDM - TOPSIS (výsledná hodnota a pořadí)	94
Tabulka 3.A.16 MCDM - SAW (výsledná hodnota a pořadí).....	94
Tabulka 3.A.17 MCDM - WPM (výsledná hodnota a pořadí)	95
Tabulka 3.A.18 Normalizované výsledné hodnoty jednotlivých metod MCDA	95
Tabulka 3.A.19 Normalizace HTA dat metodou Minkowski.....	96
Tabulka 3.A.20 Normalizace HTA dat metodou van Delft-Nijkamp.....	96
Tabulka 3.A.21 Normalizace HTA dat metodou van Delft-Nijkamp ver 2	96
Tabulka 3.A.22 Normalizace HTA dat metodou Weitendorf.....	97
Tabulka 3.A.23 Normalizace HTA dat metodou Jüttler-Körth	97
Tabulka 3.A.24 Normalizace HTA dat metodou Jüttler-Millek.....	97
Tabulka 3.A.25 Normalizace jednotlivých kritérií 1-3.....	98
Tabulka 3.A.26 Normalizace jednotlivých kritérií 4-6.....	98
Tabulka 3.A.27 Normalizace jednotlivých kritérií 7-9.....	99
Tabulka 3.A.28 Toleranční meze váhové citlivostní analýzy TOPSIS	99
Tabulka 3.A.29 Citlivostní analýza min/max pro metodu TOPSIS	100
Tabulka 3.A.30 Citlivostní analýza min/max pro metodu SAW.....	100
Tabulka 3.A.31 Citlivostní analýza min/max pro metodu WPM	101
Tabulka 3.A.32 Experimentální statistická analýza.....	101

Seznam grafů

Graf 3.1 Sada X1 - atributy typu benefit	43
Graf 3.2 Sada X1 - atributy typu cost	44
Graf 3.3 Sada X1 - atributy typu cost bez metody Jüttler-Korth.....	44
Graf 3.4 Sada X2 - atributy typu benefit	45
Graf 3.5 Sada X2 - atributy typu cost	46
Graf 3.6 Sada X3 - atributy typu benefit	47
Graf 3.7 Sada X3 - atributy typu cost	47

Graf 3.8 Sada X4 - atributy typu benefit	48
Graf 3.9 Sada X4 - atributy typu cost	48
Graf 3.10 Sada X5 - atributy typu benefit	49
Graf 3.11 Sada X5 - atributy typu cost	50
Graf 3.12 Sada X6 - atributy typu benefit (log-měřítko x).....	51
Graf 3.13 Sada X6 - atributy typu cost (log-měřítko x).....	51
Graf 3.14 Sada X6 - atributy typu benefit (log-měřítko x,y).....	52
Graf 3.15 Sada X6 - atributy typu cost (log-měřítko x,y).....	52
Graf 3.16 Sada X7 - atributy typu benefit	53
Graf 3.17 Sada X7 - atributy typu cost	54
Graf 3.18 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou TOPSIS	56
Graf 3.19 pořadí alternativ počítané metodou TOPSIS	56
Graf 3.20 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou SAW	57
Graf 3.21 pořadí alternativ počítané metodou SAW	57
Graf 3.22 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou WPM	58
Graf 3.23 pořadí alternativ počítané metodou WPM.....	58
Graf 3.24 Průběh Minkowského normalizace jednotlivých kritérií sady HTA	59
Graf 3.25 Průběh van Delft-Nijkamp normalizace jednotlivých kritérií sady HTA	60
Graf 3.26 Průběh van Delft-Nijkamp ver 2 normalizace jednotlivých kritérií sady HTA	60
Graf 3.27 Průběh Weitendorf normalizace jednotlivých kritérií sady HTA.....	61
Graf 3.28 Průběh Jüttler-Körth normalizace jednotlivých kritérií sady HTA	62
Graf 3.29 Průběh Jüttler-Körth normalizace jednotlivých kritérií sady HTA	62
Graf 3.30 Normalizace kritéria č. 1	63
Graf 3.31 Normalizace kritéria č. 2	63
Graf 3.32 Normalizace kritéria č. 3	64
Graf 3.33 Normalizace kritéria č. 4	64
Graf 3.34 Normalizace kritéria č. 5	65
Graf 3.35 Normalizace kritéria č. 5 (bez záporných hodnot metody Jüttlet-Körth)	65
Graf 3.36 Normalizace kritéria č. 6	66

Graf 3.37 Normalizace kritéria č. 7	66
Graf 3.38 Normalizace kritéria č. 8	67
Graf 3.39 Normalizace kritéria č. 9	67
Graf 3.40 Toleranční pásma vah - metoda Minkowski	68
Graf 3.41 Toleranční pásma vah – metoda van Delft-Nijkamp.....	69
Graf 3.42 Toleranční pásma vah – metoda van Delft-Nijkamp ver 2	69
Graf 3.43 Toleranční pásma vah – metoda Weitendorf.....	70
Graf 3.44 Toleranční pásma vah –metoda Jüttler-Körth	70
Graf 3.45 Toleranční pásma vah - metoda Jüttler-Millek.....	71
Graf 3.46 Citlivostní analýza minmax pro TOPSIS - výsledek bez metody Weitendorf	72
Graf 3.47 Citlivostní analýza minmax pro TOPSIS - výsledek metody Weitendorf	72
Graf 3.48 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek bez metody Weitendorf a Jüttler-Körth	73
Graf 3.49 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek metody Weitendorf...	73
Graf 3.50 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek metody Jüttler-Körth	74
Graf 3.51 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek bez metod van Delft-Nijkamp, Weitendorf, Jüttler-Körth	74
Graf 3.52 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek metody van Delft-Nijkamp_v2	75
Graf 3.53 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek metod Weitendorf a Jüttler-Körth.....	75

1 Úvod

Multikriteriální rozhodování (MCDM) je relativně nové řešení, jak se vypořádat s některými oblastmi v rámci Health technology assessment (HTA) od začátku, ale multikriteriální rozhodování provádíme dnes a denně v běžném životě, jen si to neuvědomujeme. Je jasné, že potřeba použití takové metody vzniká, máme-li porovnávat více než dvě alternativy s více kritérii. Jednou z možností, jak si zjednodušit rozhodování v takovém případě, je zvolit vhodné váhy jednotlivých kritérií a problém rozhodování se usnadní. Typickým případem jsou výběrová řízení, kdy hlavním faktorem (kritérium s nejvyšší vahou) je cena, neboť pravděpodobnost, shody ceny je nízká. V takovém případě odpadají všechna ostatní kritéria, respektive se požaduje splnění požadavků, tedy existují předem dané minimální nebo maximální hranice pro jednotlivá kritéria, které je nutné dosáhnout nebo nepřekročit, aby bylo možné se výběrového řízení účastnit. Pokud neexistuje limitující faktor, v případě kterého by nebylo nutno řešit rozhodovací problém speciálním rozhodovacím nástrojem, máme k dispozici řadu metod jak získat doporučující odpověď na otázku: „Která alternativa je nejvýhodnější?“. Jednotlivé metody přistupují k problému různým způsobem. V této práci jsem se zaměřil na tři odlišné metody. Zvolil jsem metodu TOPSIS, která je v HTA používána společně s metodou Weighted Sum Analysis (WSA). Metoda WSA bývá v literatuře označována i dalšími názvy jako Weighted Sum Model (WSM) nebo častěji Simple Additive Weighting (SAW). Tuto dvojici metod jsem doplnil ještě metodou Weighted product model (WPM), která se používá v ekonomii. Všechny tyto tři metody používají princip normalizace vstupních hodnot do intervalu $[0;1]$, aby dosáhly nezávislosti na vstupních jednotkách kritérií, a rovněž využívají váhy pro jednotlivá kritéria.

Chceme-li provádět multikriteriální rozhodování MCDM, respektive její podpůrnou analýzu MCDA, využíváme k tomu vhodný matematický aparát. Jedná se o dva názvy pro obdobný proces, jen MCDM je zakončeno rozhodnutím, kdežto MCDA je analýza, na kterou navazuje samostatné rozhodnutí, takový je předpoklad použití navrhovaného nástroje. Existuje-li vzorek dat s větším počtem atributů (tedy kritérií a/nebo alternativ), je potřeba sáhnout po vhodném nástroji pro takové řešení. Hledal jsem řešení pro multikriteriální rozhodování v prostředí MATLAB, které je používáno pro matematické účely na fakultě, a zjistil jsem, že neexistuje ani pro dílčí multikriteriální metody. Proto neexistuje v tomto prostředí ani nástroj pro MCDA v oblasti HTA. Dalším důležitým důvodem absence takového nástroje pro HTA je nejednotnost struktury dat, která se ukázala jako zásadní pro automatizované zpracování multikriteriální analýzy HTA dat.

Výsledkem diplomové práce je nástroj pro multikriteriální analýzu v prostředí MATLAB a návrh struktury HTA dat pro zpracování ve vytvořeném nástroji. Struktura

dat byla navržena, tak aby bylo možné ji v budoucnu rozšířit o fuzzy metody MCDA, dělení na kardinální a ordinální kritéria a další normalizační intervalové postupy nebo metody jako ELECTRE, PROMETHEE a AHP. Použité normalizační metody byly nejdříve analyzovány a testovány na syntetických číselných řadách dle zahraniční literatury, ale na základě zjištění některých problematických hodnot jsem rozšířil testovací sadu o další řady. Vlastní nástroj je m-funkce umožňující MCDA pomocí tří standardních metod se šesti alternativními způsoby normalizace vstupních dat. Výstupem jsou číselné proměnné.

1.1 Přehled současného stavu

Multikriteriální analýza je jedním z podpůrných prostředků pro HTA (Thokala et al. 2016; Thokala a Duenas 2012). Proto jsou vybrané používané metody vyučovány na fakultě v rámci studia SIPZ. Pro jejich jednodušší aplikaci u většího množství dat chybí u nás dostupná SW podpora. Vlastní metody MCDA nejsou všespásné a nemohou sloužit jako jediný způsob hodnocení, ale jako podpora HTA. Aby použití metod MCDA bylo funkční, musí je jejich uživatel znát a dobře chápat jejich princip i omezení. Pro výuku postačí v MS Excel, ale pro zpracování větších souborů dat je potřeba mít dostupný nástroj využívající prostředí studentům známé. MS Excel je to vhodný způsob pro rychlou orientaci studentů v problematice. Lepším řešením by bylo využívání prostředí MATLAB.

Při studiu metod MCDA jsem se kvůli nedostatku českých zdrojů zaměřil zejména na zahraniční zdroje, kterých byl dostatek, avšak žádný nepopisoval aplikaci MCDA v prostředí MATLAB. Většinou se jedná o aplikace MCDM/A v nějakém oboru nebo odvětví či rozbor jejich problematiky. Z historického hlediska je možné vysledovat dvě období rozvoje těchto metod. První období začíná v druhé polovině šedesátých let a trvá do začátku osmdesátých let, kdy je datován vznik metody TOPSIS (Hwang a Yoon 1981). S rozvojem výpočetní techniky v devadesátých letech a zkoumavým až kritickým přístupem k metodě TOPSIS vzniká řada modifikací a revize i vlastním autorem (Lai a Hwang 1994) a doplnění o alternativní lineární normalizační metodu Weitendorf. Zhruba ve stejnou dobu jako TOPSIS vzniká obdobná kompromisní metoda VIKOR (Duckstein a Opricovic 1980). Kompromisní u těchto metod znamená, že hledají variantu, která se nejvíce blíží všem ideálním maximům „benefit attribute“ nebo minimům v případě „cost attribute“. Metoda VIKOR používá výhradně lineární normalizační přístup. Aby bylo možné zhodnotit chování normalizačních metod, je v této práci srovnáváno osm normalizačních metod. Vybrány jsou normalizační metody standardní pro MCDA aplikace. Jedná se o Minkowskiho vektorovou metodu používanou v TOPSIS, linearizační metodu Weitendorf používanou v metodách VIKOR, SAW a nové úpravě TOPSIS a dále metody Jüttler-Körth a Delft-Nijkamp,

které bývají také variantně využívány. Existuje řada dalších normalizačních postupů jako je Peldschus, Stopp, logaritmický Zavadskas (Zavadskas a Turskis 2008) a lze nalézt i některé srovnávací práce (Zavadskas et al. 2003). V současné době je široce rozšířeným trendem použití intervalových přístupů respektive jejich testování (Ashtiani et al. 2009; Kabir a Hasin 2012; Santos a Camargo 2010).

Navržená datová struktura odráží zjištěné požadavky použitých multikriteriálních rozhodovacích metod i požadavky HTA, a její koncepce umožňuje v budoucnu aplikovat do vytvořeného nástroje některé z dalších metod MCDA či normalizačních metod.

1.2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh a realizace analytického nástroje pro multikriteriální analýzu pro potřeby HTA v prostředí MATLAB. Na základě současného stavu problematiky analyzovat vybrané MCDA metody a HTA data. S ohledem na výsledky analýzy a algoritmickou náročnost jednotlivých multikriteriálních metod vytvořit nástroj pro MCDA podporu v HTA. Zahrnout metody TOPSIS a SAW (eventuálně další např. WPM). Při studiu materiálů k metodám MCDA byla zjištěna zásadní potřeba otestovat vliv používaných normalizačních metod (např. Minkowski, Weitendorf, Jüttler-Körth, van Delft-Nijkamp případně jejich upravené varianty) na výsledek MCDA a zjistit omezení normalizačních metod z hlediska vstupních hodnot.

Druhým cílem bylo základě analýzy MCDA a dat HTA navrhnout vhodnou strukturu dat pro zpracování v navrženém nástroji s výhledem pro případná možná budoucí rozšíření nástroje jako je například využití „Fuzzy interval method“ pro intervalové nastavení nebo non-monotónní normalizaci v okolí bodu.

Dále implementovat citlivostní analýzu pro váhy jednotlivých kritérií za účelem zjištění tolerance stanovené váhy kritéria vůči rozsahu vstupních hodnot HTA dat.

Pomocí procesních map a vývojových diagramů popsat algoritmus činnosti samotného analytického nástroje a navrhovanou strukturu HTA dat.

Prezentovat výsledky v nástroji zpracovaných reálných HTA dat tabulkově a graficky.

1.3 Postup řešení úkolů diplomové práce

Prvním počinem byla rešeršní činnost v oblastech MCDA, HTA a MATLAB. V průniku těchto tří množin se nenalézal žádný výsledek, proto jsem pokračoval v hledání materiálů, které by se alespoň částečně blížily studovanému tématu. Výsledkem bylo nalezení několika set zdrojů, ze kterých bylo vybráno 273 článků, kapitol, knih a různých kvalifikačních prací, které podrobněji popisovaly sledovanou

problematiku, zejména v oblasti MCDA, kde se objevil další zásadní problém a tou byla problematika normalizace dat. Při studiu materiálů jsem se dostal až k původní literatuře jakou je kniha „Multiple Attribute Decision Making“ od autorů metody TOPSIS (Hwang a Yoon 1981) nebo „Executive Decisions And Operations Research“ (Miller a Starr 1973) a „Obecná teorie systémů“ (von Bertalanffy 1968).

V průběhu studia normalizačních metod jsem prováděl jejich testování v prostředí MATLAB i MS Excel. A současně s tím byly studovány vlastnosti HTA dat získané zejména z vlastní zkušenosti v zaměstnání a částečně i v literatuře.

1.4 Analýza HTA informací

Informace v HTA, která zpracováváme pomocí MCDA, jsou dvojího typu. Primárně se jedná o vlastnosti jednotlivých alternativ. Alternativy se člení na kritéria a samotné hodnoty jednotlivých kritérií v rámci alternativ se označují jako atributy. Druhou skupinou dat jsou popisné informace jednotlivých kritérií. Jako jsou jejich váhy, charakter zda se jedná o kardinální či ordinální hodnoty a jestli jsou nákladového či užitkového typu (cost/benefit atributy). Pro všechny normalizační metody platí požadavek, aby vstupující hodnoty byly v intervalu $[0;\infty]$. Už samotná nulová hodnota ovlivňuje funkci některých normalizačních metod. Pokud by bylo potřeba zpracovávat záporné hodnoty, je bezpodmínečně nutné upravit vstupní hodnoty na nezáporné například superpozicí, rozdělením na dvě kritéria a na zápornou část (například interval dosahovaných záporných hodnot) použít funkci absolutní hodnoty nebo použití nonmonotónní normalizační metody, jinak by se MCDA metody dostávaly do nevyhovujících rozsahů a vycházely nesprávné výsledky.

Ve většině případů HTA sady informací obsahují měřitelné nebo počítatelné informace. Tudiž se jedná o kardinální čísla. Jiným typem jsou informace nominální, která popisují nějakou vlastnost (např. barva), a pak ordinální, která popisují pořadí hodnot bez jakéhokoli poměru mezi nimi. Provádět rozhodovací analýzu z nominálních informací není možné. Ale pracovat s ordinálními už lze a v případě, že se nejedná o číselné hodnoty, musí se provést jejich převod na číselnou škálu. Typickým případem je hodnotící škála u zkoušky, která nabývá písmenných hodnot A-E, ale také 1-3 pro výpočet váženého prospěchu. Řada prací se snaží odlišit manipulaci s odlišnými typy čísel. Například je navrhováno zpracovat v TOPSIS zvlášť kardinální atributy a zvlášť ordinální. Výsledek vznikne jako součin dvou *CI* jednoho z kardinálních čísel a druhého z ordinálních čísel. Pro většinu zatím známých aplikací v HTA je lepší se ordinálním kritériím vyhnout.

Jiným problémem je skutečnost, kdy by bylo potřeba pracovat s určitými rozsahy hodnot, které mohou být omezeny shora nebo zdola, případně z obou stran. Protože může nastat situace, kdy hodnoty menší než je stanovená mez nechceme akceptovat, pak by se měly rovnat nule. Rovněž existují případy, kdy hodnoty vyšší než daná mez

nemají žádný lepší význam a proto je vhodné zavést prahovou hodnotu, od které se budou hodnoty kritéria rovnat hodnotě 1. Jsou však situace, kdy známe optimum a kladně hodnotíme okolí tohoto bodu, avšak s rostoucí vzdáleností od něj je potřeba, aby klesala hodnota k nule. Tyto přístupy lze řešit řadou metod a některé z nich jsou popsány v následujících kapitolách.

Číselné hodnoty HTA informací nabývají širokého rozsahu, od velmi malých čísel například šířka řezu cryocutu dosahuje hodnot v řádu jednotek až desítek mikrometrů. Jiná malá čísla můžeme nalézt u rozlišovacích schopností mikroskopů nebo u velikosti pórů molekulární sít, kde se můžeme pohybovat v hodnotách nanometrů. Na druhou stranu je možné se setkat s hodnotami v řádech milionů ať už u cen nebo třeba údajích o vysokém anodovém napětí, eventuálně u frekvencí lze v současné době mluvit o hodnotách v řádech desítek GHz. Na základě těchto zjištění je nutné počítat s rozsahem hodnot minimálně osmnácti řádů a s tím je potřeba počítat v návrhu SW.

1.5 Analýza normalizačních metod

Převod vstupních hodnot HTA do kritériální matice mají na starost normalizační metody. Cílem normalizace je dosáhnout přetransformování vstupních hodnot x_{ij} na r_{ij} do intervalu $[0;1]$. Některé metody využívají celý rozsah tj. $<0;1>$ a některé jej využívají jen jednostranně $<0;1)$ nebo $(0;1>$ a existují metody, které nedosáhnou ani na jeden okraj intervalu a pohybují se jen v rozsahu $(0;1)$. V jaké míře jsou rozsahy využívány, záleží na konkrétní metodě. Zajímavé shrnutí normalizačních metod jak pro TOPSIS (Vafaei et al. 2015) tak i pro metody SAW, VIKOR a ELECTRE (Vafaei et al. 2016). Většina metod řeší transformaci pouze jedné struktury čísel, buď cost nebo benefit. U některých metod jsou navrženy obě varianty, například Weitendorf.

1.5.1 Minkowski (vektorová normalizace)

Tato metoda umožňuje výpočet vzdálenosti dvou bodů v euklidovském prostoru. Vychází z použití Pythagorovy věty. V metodách MCDA je to často používaný způsob normalizace, ale nevyužívá celý možný interval $[0;1]$. Při normalizaci se každý atribut dělí odmocninou součtu druhých mocnin prvků v kritériu. Původní forma umožňuje pouze aplikaci na kritéria typu benefit (1.1). V upravených podobách ji je možné použít pro kritéria typu cost (1.3) (Chatterjee a Chakraborty 2014; Hwang a Yoon 1981) a (1.2) (Çelen 2014).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n x_i^2}} \quad (1.1)$$

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2}}} \quad (1.2)$$

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n x_i^2}} \quad (1.3)$$

1.5.2 van Delft-Nijkamp (metoda min-max)

Tato normalizační metoda je vlastně spojení dvou velice podobných metod, které řeší manipulaci s benefit (1.4) i cost (1.5) hodnotami (Zavadskas a Turskis 2008). V principu se velmi podobá o deset let starší metodě Jüttler. Výhodou metod min-max oproti vektorové metodě je využití většího rozsahu z intervalu [0;1]. Varianta benefit nabývá hodnot v intervalu (0;1> až v extrémním případě i <0;1>, ale to znamená, že hodnocené kritérium nabylo v minimu nulové hodnoty. Toto může nastat například při prahování, kdy konstatujeme, že hodnota nižší než stanovená mez budou rovna nule. Horší situace nastává ve variantě rovnice pro atributy typu cost, kdy v čitateli máme nejnižší hodnotu v kritériu a ta je rovna nule, potom i veškeré normalizované hodnoty kritéria jsou rovna nule. Tento přístup je nevyhovující a použití této metody je možné buď za cenu ošetření vstupních dat, aby vstupující hodnoty do normalizační metody byly nenulové, nebo se použije pro oba typy atributů metoda benefitní a výsledek po normalizaci se u cost atributů odečte od hodnoty 1 (1.6), jak například popisuje (Chakraborty 2007). S podobnou myšlenkou přišel Körth u své úpravy Jüttlerovy normalizační metody (Peldschus 2009).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^+} \quad \text{kde } x_i^+ = \max_i x \quad (1.4)$$

$$r_{ij} = \frac{x_i^-}{x_{ij}} \quad \text{kde } x_i^- = \min_i x \quad (1.5)$$

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_i^+} \quad \text{kde } x_i^+ = \max_i x \quad (1.6)$$

1.5.3 Weitendorf

Zajímavou normalizační metodou je Weitendorfova lineární metoda. Tato metoda linearizuje vstupní hodnoty na interval <0;1>. Výhodou metody je využití maximální části intervalu. Ideální je tato metoda pro ordinální hodnoty, protože linearizací dochází ke změně poměru vstupních hodnot kritéria mezi sebou. Na druhou stranu, tyto hodnoty normalizuje v poměru vůči rozsahu jejich minima a maxima. Metodě nevádí přítomnost nulových hodnot v souboru. Využití této metody je navrženo jak u metody VIKOR, tak i u revize metody TOPSIS. Použití této metody zvětší rozestup vstupních hodnot, jsou-li všechny nahloučeny poblíž sebe. Na druhou stranu dojde ke splnutí hodnot s malým odstupem, je-li ve vzorku přítomen nějaký extrém/my (výrazně odlišná hodnota u jednoho nebo obou konců intervalu hodnot). Metoda má k dispozici obě varianty pro řešení hodnot typu cost i benefit (Brauers et al. 2008).

$$r_{ij} = \frac{(x_i^+ - x_{ij})}{(x_i^+ - x_i^-)} \quad (1.7)$$

$$r_{ij} = \frac{(x_{ij} - x_i^-)}{(x_i^+ - x_i^-)} \quad (1.8)$$

1.5.4 Jüttler-Körth

Tato linearizační metoda porovnává odchylku normalizované hodnoty od maxima ve vzorku. Nevypočítává tedy poměr hodnoty vzorku vůči maximu, ale jen poměr odchylky od maxima s maximem. Z této metody byla později odvozena metoda van Delft-Nijkamp. Původní Jüttlerova metoda je vhodná pro benefit atributy se podobá rovnici (1.9), ale neodečítala se hodnota zlomku od hodnoty 1. V pozdějším rozšíření metody pro benefit atributy je úprava podle Körtha, která se vypočítává podobně jako varianta pro cost atributy (1.9), se také odečítá od hodnoty 1 (1.10). Tato kombinace metod se vyskytuje v řadě srovnání normalizačních metod (Chatterjee a Chakraborty 2014), ale ne vždy poskytuje dobré výsledky (byl nalezen problém při testování cost atributů rozsahu [1;10], kde poskytuje špatné výsledky). Obecně lze konstatovat, že je to způsobeno v případě, kdy rozdíl maximální hodnoty a minimální hodnoty je větší než minimální hodnota kritéria. Proto byla v rámci diplomové práce navržena úprava vzorce (1.11). Výhodou metody je zachování proporcionality vůči maximu ve vzorku a druhou zvláštností je, že normalizovaná škála vždy obsahuje hodnotu 1 pro nejlepší atribut bez ohledu na typ atributu.

$$r_{ij} = 1 - \frac{(x_i^+ - x_{ij})}{x_i^+} \quad (1.9)$$

$$r_{ij} = 1 - \left| \frac{(x_i^- - x_{ij})}{x_i^-} \right| \quad (1.10)$$

$$r_{ij} = \frac{(x_i^+ + x_i^- - x_{ij})}{x_i^+} \quad (1.11)$$

1.5.5 Jiné studované normalizační metody

Kromě výše popisovaných normalizačních metod byly studovány i další, ale nebyly vybrány pro použití v navrhovaném MCDA nástroji. Studována byla například Stoppova hyperbolická metoda (Peldschus 2009).

Nonmonotónní normalizační metoda

Nejzajímavější ze studovaných metod je nonmonotónní metoda, která umožňuje normalizaci podle vzdálenosti od stanoveného bodu a v závislosti na nastavení strmosti Gaussovy křivky (parametr σ_i) lze ovlivňovat převodní charakteristiku na interval [0;1], kdy v případě dosažení stanoveného bodu x_i^* je výsledkem hodnota 1, ale s rostoucí vzdáleností se hodnota blíží asymptoticky k nule (Shih et al. 2007).

$$r_{ij} = e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad z = \frac{(x_{ij} - x_i^*)}{\sigma_i} \quad (1.11)$$

Peldschusova normalizační metoda

V roce 1983 byla prezentována Peldschusova nelineární metoda (hyperbolická), která výrazně zmenšuje výsledný interval po normalizaci (Zavadskas a Turskis 2008). Účel tohoto přístupu není jasný, původní práce z té doby jsou pouze v němčině.

$$r_{ij} = \left(\frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \right)^2 \quad (1.12)$$

$$r_{ij} = \left(\frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \right)^3 \quad (1.13)$$

Zavadskas-Turskis „nová logaritmická metoda“

Logaritmická metoda je jednou z metod, které zajistí, že součet normalizovaných hodnot je roven 1. (Zavadskas a Turskis 2008). Její zápis je vcelku složitý a výsledek se podobá standardní metodě, která je používána například v Saatyho matici při normalizaci vah. Její velikou slabinou je nemožnost použití na vzorek obsahující nulovou hodnotu kvůli funkci logaritmus (1.13 a 1.14).

$$r_{ij} = \frac{\ln x_{ij}}{\ln(\prod_{i=1}^n x_{ij})} \quad (1.13)$$

$$r_{ij} = \frac{1 - \frac{\ln x_{ij}}{\ln(\prod_{i=1}^n x_{ij})}}{n-1} \quad (1.14)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (1.15)$$

1.6 Analýza metod MCDA

Při volbě metod se hledal doplněk k předvolené metodě TOPSIS. Vybrána byla metoda SAW, která bývá často označována, jako srovnávací. Dále byl kladen důraz na využití vah a to jak z hlediska možnosti nastavení důrazu jednotlivých kritérií, tak i s ohledem na potřebu vytvoření citlivostní analýzy. V průběhu studia metod byly studovány metody AHP, VIKOR, ELECTRE a WPM. Poslední zmiňovaná byla zvolena jako třetí metoda, protože zajímavým způsobem porovnává kritéria vždy dvou alternativ mezi sebou a kombinuje tak svým způsobem přístup SAW a AHP. V HTA se velmi často používají metody TOPSIS, SAW a AHP, lze tak konstatovat, že volba metod zásadně nevybočuje od standardních, jen místo AHP byla zvolena metoda WPM.

1.6.1 TOPSIS

Metoda „Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution“ TOPSIS byla vyvinut v rámci vojenského výzkumného programu v USA (Hwang a Yoon 1981). Jedná se o metodu kompromisní, tedy hledá kompromis (trade-off) mezi všemi

alternativami respektive mezi dílčími kritérii a to tak, že v normalizované kritériální matici hledá vždy nejlepší a nejhorší hodnoty a vůči nim porovnává všechny hodnoty dílčího kritéria. Pro vytvoření normalizované multikritériální matice slouží některá z normalizačních metod. Nejčastěji je používána vektorová tzv. Minkowského normalizace (1.16).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1.16)$$

Její použití je navrženo samotnými tvůrci metody, i když v roce 1994 Yoon doplnil normalizační metodu Weitendorf. V praxi se nejvíce používá vektorové normalizace, ale v této práci jako i jinde jsou testovány i další normalizační metody. Normalizací dat dojde k převedení všech vstupních hodnot do některého z intervalů (0,1), <0,1>, (0,1> nebo <0,1), čímž vznikne tzv. multikritériální matice. Tímto krokem dojde také k převedení všech kritérií na benefit atribut pomocí odpovídajícího postupu normalizační metody podle typu kritéria (cost/benefit). V multikritériální matici platí, čím vyšší hodnota v rámci kritéria tím lepší hodnocení dané alternativy. Z maximálních hodnot v každém kritériu se vytvoří ideální bod ze vzorku dat označovaný jako „positive ideal solution“ se zkratkou PIS (1.17). Obdobně je vytvořen z minimálních hodnot ze vzorku dat opak ideálního bodu „negative ideal solution“ se zkratkou NIS (1.18).

$$PIS_i = \max(x_{ij}) \quad \text{pro } j = 1:n \quad (1.17)$$

$$NIS_i = \min(x_{ij}) \quad \text{pro } j = 1:n \quad (1.18)$$

Následně se vypočítá vzdálenost jednotlivých alternativ od PIS a NIS pomocí Minkowského vektorové metody. Tyto vzdálenosti se agregují a jsou označovány jako D^+ a D^- (1.19 a 1.20).

$$D_{ij}^+ = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^n w_j (x_{ij} - PIS_i)^2} \quad (1.19)$$

$$D_{ij}^- = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^n w_j (x_{ij} - NIS_i)^2} \quad (1.20)$$

Poměrem vzdálenosti D^- a celkové vzdálenosti rovnající se součtu D^+ a D^- se vypočítá tzv. „Close Index“ CI, který slouží ke vzájemnému porovnání alternativ (1.21). Vyhodnocení alternativ se provede sestupně podle velikosti od největší hodnoty CI po nejmenší.

$$CI_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (1.21)$$

1.6.2 SAW

Do souboru implementovaných MCDA byla zařazena velmi rozšířená metoda „Simple Additive Weighting“ SAW (Alinezhad et al. 2014). Jedná se o metodu, která bývá označována i dalšími zkratkami například WSA „Weighted Sum Analysis“ (Friebelova 2008) a pod touto zkratkou je také na naší fakultě vyučována, ale lze také najít „Weighted Sum Model“ WSM (Zanakis et al. 1998). Princip metody je jednoduchý a velmi dlouho využívaný (Fishburn 1967), proto slouží jako komparační metoda pro ostatní MCDA postupy. Vstupní data jsou opět transformována do normalizované multikriteriální matice a následně všechny atributy násobeny váhou odpovídajícího kritéria a následně jsou tyto hodnoty jednotlivých alternativ sečteny (1.22). Výsledné porovnání alternativ probíhá sestupně podle velikosti obdobně jako u metody TOPSIS.

$$C_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij} \quad (1.22)$$

1.6.3 WPM

„Weighted product model“ WPM je metoda aplikující vzájemné porovnání vždy jen dvou alternativ. Není nutné používat normalizovanou multikriteriální matici, ale nikde nebyl popsán rozdílný způsob manipulace s cost a benefit atributy, proto je výhodné normalizaci použít. Vždy je potřeba otestovat všechny možné dvojice (Triantaphyllou a Shu 1998). Vzniká tak větší počet opakujících se výpočtů, které je ale možné snadno řešit pomocí matic v počítači. Princip je založen na vzájemném poměru atributů stejného kritéria dvou alternativ a jeho následném umocnění váhou kritéria a celkovým součinem všech výsledků (1.23). Výsledné hodnoty menší než 1 se neakceptují a pořadí se určuje podle velikosti dosažené hodnoty R sestupně.

$$R_{K/L} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{r_{iK}}{r_{iL}} \right)^{w_i} \quad (1.23)$$

V nejnovějších pracích bylo nalezeno, že je možné zjednodušit pojetí metody bez vzájemného porovnávání na úrovni jednotlivých atributů alternativ (1.24) (Zamani-Sabzi et al. 2016). V této práci je však použita varianta se vzájemným porovnáváním.

$$R_j = \prod_{i=1}^n (r_{ij})^{w_i} \quad (1.24)$$

1.6.4 Jiné studované metody MCDA

Kromě výše zmiňovaných MCDA metod byly studovány i další s cílem, udělat si představu o jiných přístupech k multikriteriální analýze. Důvod vynechání těchto metod z vytvořeného nástroje je popsán dále.

VIKOR

Zhruba ve stejné době, kdy vzniká TOPSIS, je prezentována podobná kompromisní metoda VIKOR, která používá obdobné postupy. Liší se v použité normalizační metodě, protože používá striktně metodu Weitendorf a výsledné pořadí vyhodnocuje pomocí tří faktorů. Prvním je S_j , jeho výpočet je podobný (1.25), ale při výpočtu D_{ij} se poměruje rozdíl atributu s maximem s rozsahem kritéria. Dále je hledána hodnota R_j (1.26), která je maximem D_{ij} pro každou alternativu a parametr Q_j (1.27 až 1.29) - stupeň agregace, který se vypočítá z hodnot S_j , S_j^+ , S_j^- , R_j , R_j^+ , R_j^- a v . Parametr v se nastavuje typicky na úroveň 0,5, ale může nabývat hodnot v rozsahu $[0;1]$, kdy její výši nastavujeme důraz na parametr S_j (užitek ve skupině alternativ) a snižujeme efekt R_j (faktor obětované příležitosti). Vyhodnocení probíhá ve třech krocích. Hodnotí se pořadí podle S_j , R_j a Q_j (S_j , R_j sestupně a Q_j vzestupně). Vzniknou tak tři pořadí alternativ, která se vyhodnocují. Ještě se vypočítá parametr QD (1.30), který stanovuje minimální akceptovatelný odstup nejlepší od druhé nejlepší alternativy. Parametr J je počet hodnocených alternativ. Pokud je tento požadavek splněn a platí i pořadí S_j a/nebo R_j , lze určit nejlepší kompromisní variantu (Duckstein a Opricovic 1980; Opricovic a Tzeng 2004, 2007, Opricovic 2009, 2011). Vyhodnocení metody není nejjednodušší a vše ovlivňuje určení hodnoty v , proto nebyla tato metody zahrnuta do vytvářeného nástroje.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (PIS_i - x_{ij}) / (PIS_i - NIS_i) \quad (1.25)$$

$$R_j = \max_{ij} [w_i (PIS_i - x_{ij}) / (PIS_i - NIS_i)] \quad (1.26)$$

$$S_j^+ = \max_j S_j \quad S_j^- = \min_j S_j \quad (1.27)$$

$$R_j^+ = \max_j R_j \quad R_j^- = \min_j R_j \quad (1.28)$$

$$Q_j = v(S_j^+ - S_j) / (S_j^+ - S_j^-) + (1 - v)(R_j^+ - R_j) / (R_j^+ - R_j^-) \quad (1.29)$$

$$QD = 1 / (J - 1) \quad (1.30)$$

AHP

Metoda „Analytic Hierarchy Process“ AHP byla navržena Saatyem v roce 1980 a princip je obdobný jako při výpočtu vah v Saatyho matici. Data vstupující do navrhovaného MCDA nástroje neobsahují požadované informace a proto nebyla tato metoda začleněna. Metody párového porovnávání by bylo možné aplikovat strojově jen na principu ostré preference. A tím je z velké části omezena jedna z hlavních vlastností a tou je možnost nastavení vzájemné preference mezi kritérii, která u kompromisních metod TOPSIS a VIKOR zcela chybí. Pro výpočet AHP by bylo potřeby mít k dispozici matici vztahů kritérií.

1.6.5 Citlivostní analýza

Dílčí úkol, který měl být zaměřen na citlivostní analýzu, se věnuje dvěma pohledům na tuto problematiku. V první řadě je sledován dopad změny váhy kritéria na výsledek MCDA, tento postup je v souladu s návrhem citlivostní analýzy dle EUnetHTA (European network for Health Technology Assessment | 2015). Zkoumán je potenciální možný rozsah váhy daného kritéria, který ještě neovlivní výsledek MCDA zjištěný s původní sadou vah. Tento test je užitečný pro kontrolu nastavení struktury vah v závislosti na aktuálním souboru hodnot, na základě kterých je provedena MCDA. Pokud vychází toleranční pásmo některé z vah velmi malé v jednom směru, poukazuje to na potenciální riziko, že váha takového kritéria, mohla být nadhodnocena nebo podhodnocena (podle blízkosti k užšímu tolerančnímu pásmu) a její nepřesnost by snadno ovlivnila konečný výsledek. V případě, že toleranční pásmo dovoluje jen malé odchylky váhy v obou směrech, je potřeba se zamyslet nad významem celého kritéria, protože riziko ovlivnění výsledku nevhodně zvolenou hodnotou váhy je vysoké (Triantaphyllou a Sanchez 1997). Do MCDA nástroje byla implementována váhová citlivostní analýza jen pro metodu TOPSIS, protože byl při analýze metody TOPSIS vytvořen nový způsob jak provádět citlivostní analýzu zjednodušeně „uvnitř“ metody viz kapitola 2.4.

Druhá možnost citlivostní analýzy spočívá v manipulaci s maximálními a minimálními hodnotami. Tím dochází už k ovlivnění výsledků normalizace a implementace takových postupů je složitější, protože vyžaduje obrovské množství opakovaných výpočtů. V práci jsem se zaměřil na manipulace s maximálními a minimálními hodnotami, které jsem přibližoval k jejich sousedním hodnotám a sledoval, kdy se změní výsledek MCDA.

2 Metody

Během studia jednotlivých rozhodovacích a normalizačních metod ze získaných materiálů jsem zahájil testování podle v literatuře popsanych metod. V první pokusech jsem využívat testování v MS Excel. Po ověření chování jednotlivých metod jsem přistoupil k programování normalizačních metod do prostředí MATLAB. V prostředí MATLAB jsem se snažil využívat silných stránek operací s maticemi.

2.1 Návrh zpracování a úprav metod MCDA

Na základě úvodní analýzy metod MCDA a normalizačních metod jsem se rozhodl zahrnout kromě metod TOPSIS a SAW ještě jednoduchou zajímavou metodu WPM. Normalizační metody jsou popsány v kapitole 2.2. Provedení metod MCDA jsem neupravoval a matematické postupy jsou zachovány podle předchozí kapitoly.

Z časových důvodů byla vypuštěna zajímavá metoda VIKOR. Bylo by zajímavé provést její porovnání v prostředí HTA.

2.2 Návrh zpracování a úprav normalizačních metod

Důvodem implementace níže zmiňovaných metod je možnost ukázky jejich chování při zpracovávání soubodů HTA dat.

2.2.1 Minkowski (vektorová normalizace)

V návrhu funkce jsou použity rovnice (1.1) a (1.3) beze změn.

2.2.2 van Delft-Nijkamp (min-max normalizace)

V návrhu funkce f_mcd jsou použity dvě metody min-max v prvním variantě jsou použity standardní rovnice (1.4) a (1.5) a po vypočtení normalizované matice jsou výsledky NaN nahrazeny hodnotou 0. V druhé variantě jsou použity rovnice (1.4) a (1.5). Tato varianta je v práci označována jako „van Delft-Nijkamp ver 2“ nebo jen „van Delft-Nijkamp_v2“. Původní verze metody vykazovala řadu problémů při předběžném testování v MS Excelu, ale z důvodu testování normalizačních metod zůstává použita i ve výsledném nástroji f_mcd pro demonstraci chyb této metody.

2.2.3 Weitendorf (lineární normalizace)

V návrhu funkce jsou použity rovnice (1.7) a (1.8) beze změn.

2.2.4 Jüttler-Körth (normalizace)

V návrhu funkce jsou v první variantě použity rovnice (1.9) a (1.10) beze změn a v alternativě Jüttler-Millek jsou použity rovnice (1.9) a (1.11). Původní verze metody se před implementací nejeví jako perspektivní, ale z důvodu testování normalizačních metod zůstává použita i ve výsledném nástroji *f_mcd* pro demonstraci chyb této metody.

2.3 Návrh struktury dat HTA

Při návrhu struktury HTA dat pro zpracování pomocí navrhované funkce jsem využíval zkušeností z praxe a požadavků odvozených ze studia normalizačních metod, které jsou na vstupu do všech MCDA metod. Navržená struktura je rozdělena na tři části:

- první je popisná a nese informace o názvech kritérií, parametřů a alternativ;
- druhý část tvoří informace pro manipulaci s atributy rozdělené podle kritérií;
- třetí část obsahuje atributy jednotlivých alternativ.

Struktura je navržena pro soubor XLS nebo XLSX, aby bylo zajištěno snadné a přehledné zadávání informací pro multikriteriální rozhodování HTA. Níže popsaná struktura je vyžadována pro zpracování v nástroji *f_mcd*. Sloupce č. 4. až 7. jsou prozatím nevyužity, ale jsou zahrnuty s výhledem pro další nástroje nebo další normalizační metody, intervalové či fuzzy metody.

Struktura souboru podle sloupců (datový formát; hodnota; maximální délka pole):

1. od druhého řádku názvy kritérií (char/num; libovolný řetězec; 256);
2. od druhého řádku informaci o typu dat – kardinální/ordinální (char; [c o]; 1);
3. od druhého řádku informaci o typu dat – cost/benefit (char; [c b]; 1);
4. od druhého řádku informaci o minimální hodnotě (num;libovolná hodnota; int64/double);
5. od druhého řádku informaci o maximální hodnotě (num;libovolná hodnota; int64/double);
6. od druhého řádku informaci o optimální hodnotě (num;libovolná hodnota; int64/double);
7. od druhého řádku informaci o hodnotě sigma (num;libovolná hodnota; int64/double);
8. od druhého řádku informaci o hodnotě váhy kritéria (num;libovolná hodnota; int64/double);
9. až 256. v prvním řádku název alternativy (char/num;libovolný řetězec; 256);

od druhého řádku informaci o minimální hodnotě (num;libovolná hodnota; int64/double);

2.4 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza slouží k hledání extrémů, při kterých změnou sledovaných parametrů nalezneme hranici chování nějaké funkce nebo systému, například hledání meze stability nebo inflexních bodů. Použité citlivostní analýzy testují vztah konkrétních přednastavených vah kritérií, a hladinu a rozsah hodnot atributů v jednotlivých kritériích zadaných v testovaném souboru dat. Změna vstupních hodnot atributů nebo vah znamená i změnu výsledku citlivostní analýzy.

V této práci je citlivostní analýza použita k hledání tolerančního pásma vah jednotlivých kritérií, pro které platí stejný výsledek pořadí alternativ jako v případě původního nastavení vah.

Druhý způsob citlivostní analýzy použitý v této práci testuje citlivost stanovených vah na změnu maxima v případě kritéria typu cost a minima v případě kritéria typu benefit.

2.4.1 Váhová citlivostní analýza

Pro řešení této citlivostní analýzy byla použita práce (Alinezhad a Amini 2011). Zde navržená metoda vychází z následujících předpokladů: součet vah všech kritérií je roven 1 (1.31 a 1.32) a vždy je cíleně manipulováno jen s jednou váhou pomocí testovací hodnoty Δp s cíle získat upravenou w'_p (1.33) v intervalu $[0;1]$ a ostatní váhy jsou dopočítávány v poměru odchylky změněné váhy pomocí korekční hodnoty Δj (1.34) a původního nastavení netestované váhy w'_{pj} (1.35). Kde index p je index kritéria, které je upravováno.

$$1 = \sum_{j=1}^n w_j \quad (1.31)$$

$$1 = \sum_{j=1}^{n-1} w'_{pj} + w'_p \quad (1.32)$$

$$w'_p = w_p + \Delta p \quad \Delta p \in \{-w_p; 1 - w_p\} \quad (1.33)$$

$$\Delta j = \frac{\Delta p w_j}{w_p - 1} \quad (1.34)$$

$$w'_{pj} = w_{pj} + \Delta j \quad (1.35)$$

Do metody TOPSIS byla váhová citlivostní analýza integrována následujícím postupem: váhy jsou použity při výpočtu D^+ a D^- a to pod odmocninou před součtem všech kvadrátů rozdílů atributů od maxim jednotlivých kritérií (1.19 a 1.20). Následnou úpravou lze získat jiný zápis pro w'_{pj} (1.36) a pro celý zmiňovaný vektor pod odmocninou potom platí korekční koeficient γ (1.37).

$$w'_{pj} = \frac{1-w_p-\Delta p}{1-w_p} w_j = \frac{1-w'_p}{1-w_p} w_j \quad (1.36)$$

$$\gamma = \left(\frac{1-w'_p}{1-w_p} \right)^2 \quad (1.37)$$

Tento koeficient ale upravuje celý vektor, z něj ale je nutné odečíst hodnotu testovaného kritéria, která musí být v součtu nahrazena hodnotou w'_p (1.38). Tuto část lze dále upravit (1.39) a může být provedena substituce dle (1.40).

$$D_{ijp}^+ = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^n \gamma w_i (x_{ij} - PIS_i)^2 - \gamma w_p (x_p - PIS_p)^2 + w'_p (x_p - PIS_p)^2} \quad (1.38)$$

$$-\gamma w_p (x_p - PIS_p)^2 + w'_p (x_p - PIS_p)^2 = (w'_p - \gamma w_p) (x_p - PIS_p)^2 \quad (1.39)$$

$$\beta = (w'_p - \gamma w_p) \quad (1.40)$$

$$D_{ijp}^+ = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^n \gamma w_i (x_{ij} - NIS_i)^2 + \beta (x_p - PIS_p)^2} \quad (1.41)$$

$$D_{ijp}^- = \sqrt[2]{\sum_{i=1}^n \gamma w_i (x_{ij} - NIS_i)^2 + \beta (x_p - PIS_p)^2} \quad (1.42)$$

Úprava přináší výrazné zrychlení výpočtů, protože koeficientem γ lze korigovat celkový součet vektoru kvadrátů jediným násobením a druhá část pod odmocninou je tvořena kvadrátem, který může být předpočítán jako dílčí výpočet pro každou alternativu při tvorbě celkového součtu. Tím pádem se mění obsah jedné závorky (1.41 a 1.42). Takový přístup k výpočtu citlivostní analýzy vyžaduje minimum matematických operací, během které se upravují pouze parametry Δp , w'_p a γ . Ostatní prvky rovnice mohou být připraveny pro opakované použití.

2.4.2 Citlivostní analýza minim a maxim

Tato analýza vznikla jako experiment na základě sledování chování normalizačních a multikriteriální metody TOPSIS v této diplomové práci. Cílem metody je ověřit stabilitu výsledku s ohledem na extrémní hodnotu jednotlivých kritérií. Pro data typu cost se snižovala maximální hodnota k druhé maximální (například úprava cen nebo příkonu) a pro data typu benefit se zvyšovala minimální hodnota k druhé minimální (například větší počet modulů, příslušenství, přepravního objemu). Cílem bylo hledání hraniční hodnoty ovlivňující výsledek změnou extrémní hodnoty, například snížením nejvyšší ceny nebo zvýšením užitého objemu přepravní nádoby.

2.5 Návrh algoritmu nástroje pro MCDA

Celý algoritmus funkce f_mcda je složen z dílčích funkcí, které zpracovávají buď vstupní informace, nebo ve větší míře využívají již zpracovaná data, jež jsou výstupem jiných dílčích funkcí.

2.5.1 Koncepce funkce *f_mcd*

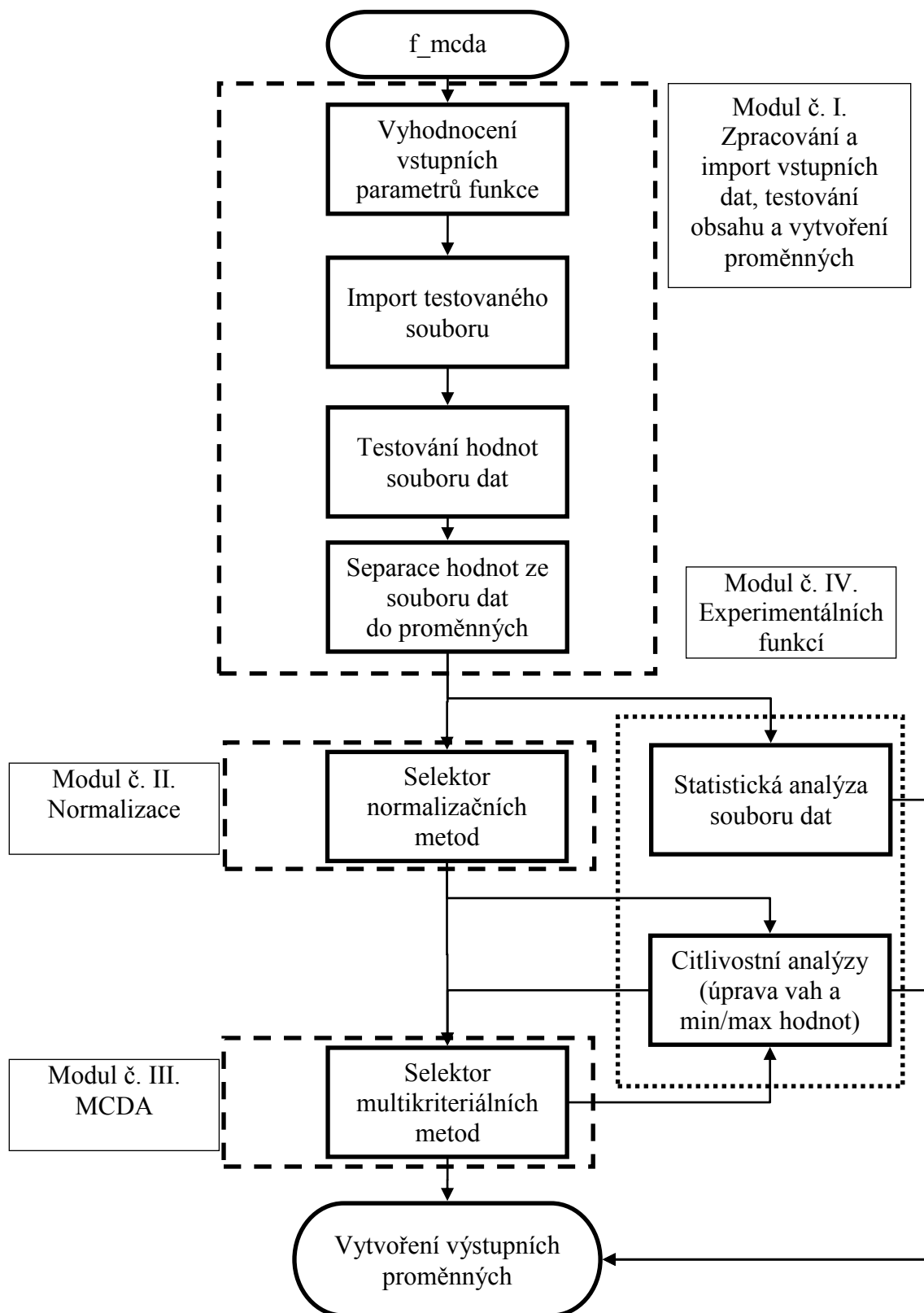
Koncepce je založena na několika blocích. První se věnuje importu dat ze souboru a kontrole vstupních požadavků od uživatele a separaci funkčních prvků ze vstupního souboru (např. charakter dat, váhový vektor, atributy aj.). Druhý blok slouží pro normalizaci importovaných dat. Třetím důležitým prvkem je modul vlastní multikriteriální analýzy rozdělený na tři metody. Doplnujícím blokem je citlivostní analýza váhová a limitů a dále byl doplněn experimentálně blok deskriptivní statistiky pro vstupní HTA data. Celková struktura funkce *f_mcd* je znázorněna na obrázku č. 2.1.

Modul č. I. zpracovává vstupní proměnou *varargin* a podle jejího rozsahu nastavuje budoucí zpracování. Ošetřena je absence názvu souboru vstupních dat chybovým hlášením. V případě absence stanovení multikriteriální metody, je předdefinována metoda TOPSIS a v případě absence normalizační metody je předdefinována metoda Minkowski. Kromě přímého zvolení metody je možný parametr „all“, který provede všechny funkcionality funkce *f_mcd*, tedy všechny tři multikriteriální metody se všemi normalizačními metodami a dále provede popisnou statistickou analýzu a citlivostní analýzy. Vše je zapisováno do variabilního výstupu *varargout*, který tvoří až sedm datových polí.

Modul č. II. vytváří normalizovanou multikriteriální matici dle volby normalizační metody. Takto vytvořenou matici poskytuje k dalšímu zpracování.

Modul č. III. provádí realizaci multikriteriální analýzy na základě zvolené metody. Výsledkem je pořadí alternativ a hodnota, která je získána při zpracování, z níž je výsledné pořadí stanoveno.

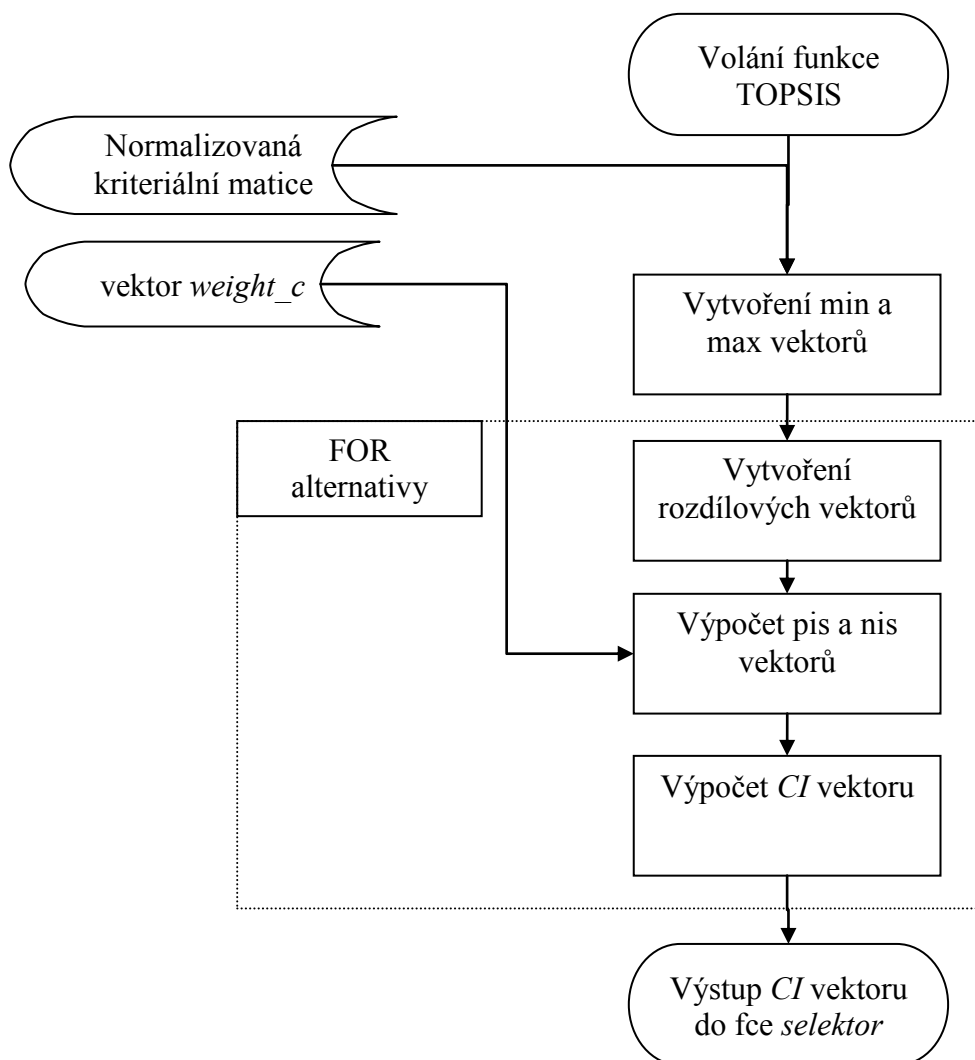
Modul č. IV. provádí experimentální analýzu zpracovávaných dat. Tento modul se spouští volbou „all“. Prvním krokem je deskriptivní statistika, druhým je váhová citlivostní analýza a třetím druhá citlivostní analýza tedy test se snížením maximální nebo minimální hodnoty podle typu kritéria. Výsledkem jsou tři tabulky uložené do samostatných výstupních proměnných.



Obrázek 2.1 Struktura funkce `f_mcd`

2.5.2 Dílčí funkce - *TOPSIS*

Vnitřní struktura dílčí funkce *TOPSIS* se neliší od popisu v kapitole 1.6.1. Probíhá ve třech krocích jako součást Modulu III., kde v rámci dílčí funkce *selektor* jsou do funkce *TOPSIS* vložena normalizovaná data z výstupu normalizační funkce *selektor_n* a vektor *weight_c*, který je vektorem vah. Z normalizované multikriteriální matice se vytvoří vektory minimálních a maximálních hodnot jednotlivých kritérií. Následně jsou v cyklu alternativy vypočteny *pis* a *nis* vektory jednotlivých alternativ jako součin vektorů *weight_c* a rozdílového vektoru. Ve třetím kroku jsou vypočteny indexy *CI* pro každou alternativu, viz obrázek 2.2. Do funkce *selektor* je vrácen vektor hodnot *CI* a z něj je pomocí funkce *unique* vytvořeno pořadí alternativ.



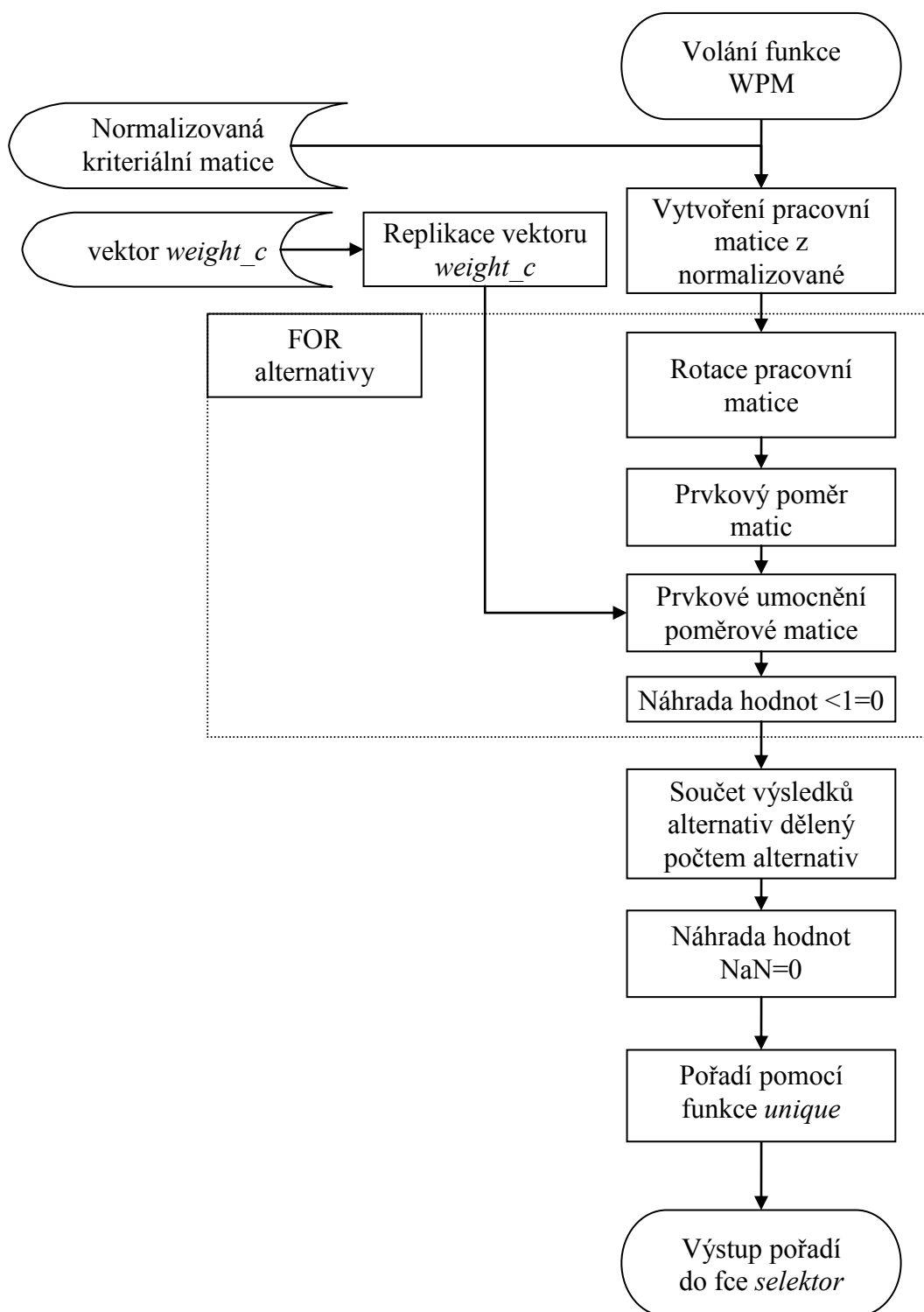
Obrázek 2.2 Vnitřní organizace dílčí funkce *TOPSIS*

2.5.3 Dílčí funkce - *SAW*

Vnitřní struktura dílčí funkce *SAW* se neliší od popisu v kapitole 1.6.2. A díky jednoduchosti celé metody probíhá přímo ve funkci selektor, protože vyžaduje na vstupu pouze normalizovanou kritériální matici a replikovanou matici z váhového vektoru *weight_c* pomocí standardního příkazu *repmat*. Výsledek metody *SAW* vzniká jako sloupcový součet prvkového součinu vstupních matic. Tento součet je vyhodnocen funkcí *unique*.

2.5.4 Dílčí funkce - *WPM*

Vnitřní struktura dílčí funkce *WPM* se neliší od popisu v kapitole 1.6.3. Probíhá ve třech krocích jako součást Modulu III., kde v rámci dílčí funkce *selektor* jsou do funkce *WPM* vložena normalizovaná data z výstupu normalizačního *selektoru_n* a vektor *weight_c*, který je vektorem vah. Z normalizované multikritériální matice se vytvoří pracovní kopie, která rotuje, tak že se na začátku každého cyklu alternativ první sloupec pracovní matice přemístí na poslední pozici a ostatní sloupce matice se posunou vlevo, aby druhý sloupec před cyklem po rotaci matice byl na první pozici. Všem sloupcům klesne index o jedna a první sloupec dostane index posledního sloupce. Následně jsou v cyklu alternativ vypočteny poměry prvků matice normalizované a matice pracovní rotované. Výsledné poměry jsou prvkově umocněny replikovanou maticí vektorů *weight_c* o počtu sloupců jaký je počet sloupců v normalizované matici tj. počet alternativ. Umocněné prvky jednotlivých alternativ jsou vzájemně vynásobeny funkcí *product*. Po ukončení cyklu jsou všechny hodnoty menší než 1 nahrazeny hodnotou nula. Ve druhém kroku jsou sečteny všechny součiny jednotlivých alternativ vzniklých z rotace pracovní matice děleny počtem rotací. Tím vznikne index WPM a protože některé alternativy při přítomnosti nuly v souboru HTA dat nebo po normalizaci mohou vycházet nulové, je nutné zaměnit symbol NaN za hodnotu nula. Celý algoritmus funkce je na obrázku 2.3. Do funkce selektor je vráceno pořadí vytvořené funkcí *unique* z hodnot získaných po nahrazení NaN hodnot.



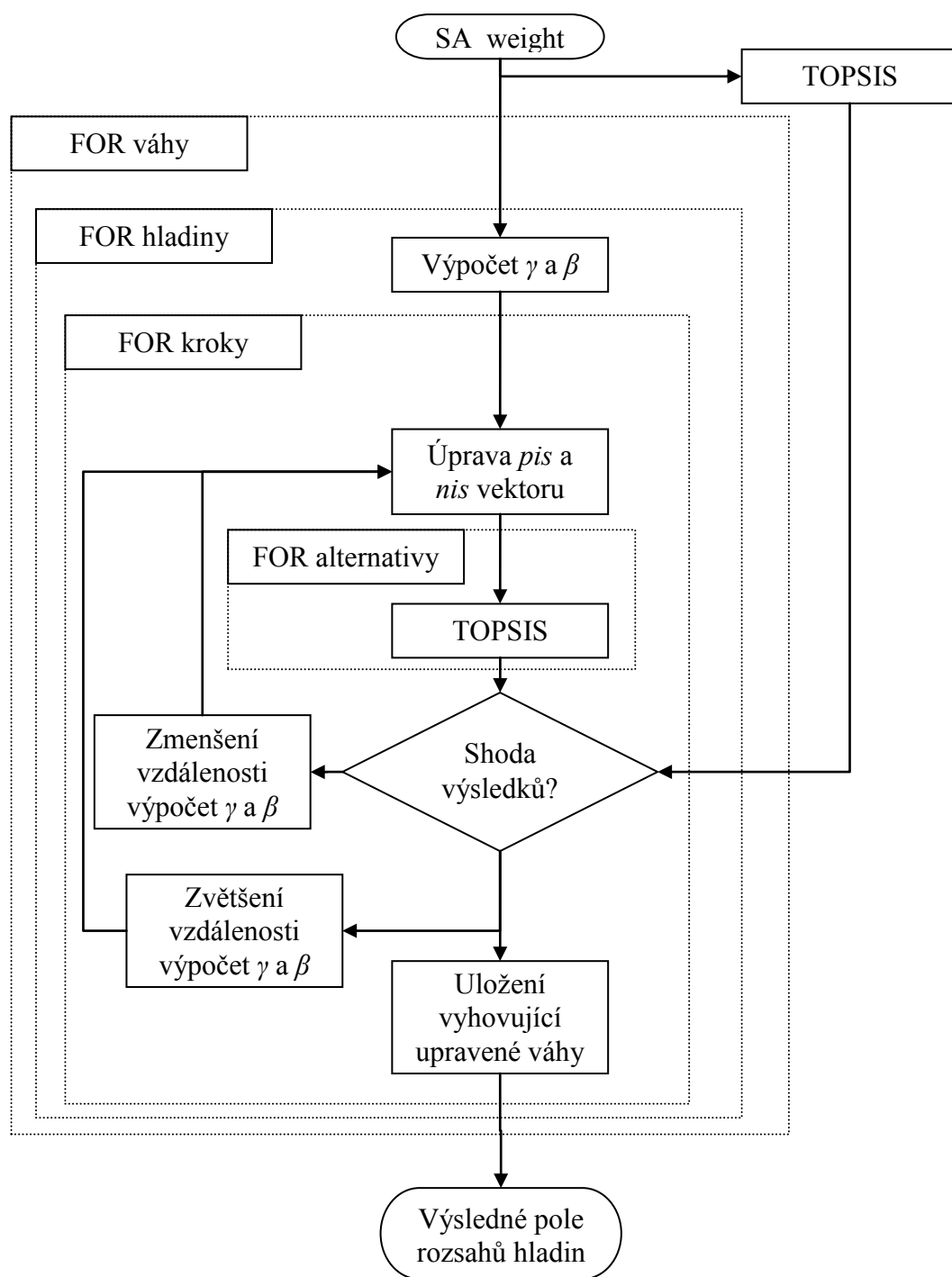
Obrázek 2.3 Schéma dílčí funkce *WPM*

2.5.5 Dílčí funkce – *SA_weight*

Algoritmus funkce se výrazně neliší od popsaného postupu popsaného v kapitole 2.4.1. Do funkce vstupuje *pis* a *nis* vektor (kvadráty rozdílů pis_i/nis_i a r_{ij}), vektor vah a parametr počtu kroků pro postupné dělení intervalu dílčí váhy. V úvodu se vypočte hodnocení alternativ metodou TOPSIS a s touto hodnotou jsou následně porovnávány výsledky váhami upravovaných *pis* a *nis* vektorů, viz obrázek 2.3.

Celý algoritmus je rozčleněn na čtyři do sebe uzavřených podcyklů:

- 1) Postupné testování vah kritérií, počet cyklů se rovná počtu kritérií. Další funkce nemá.;
- 2) Cyklus hladin uzavřený do váhového, který přepíná analýzu horní a dolní hladiny tolerančního pásma. Na začátku cyklu se definují hodnoty pro rozsah testované váhy, z toho se vypočítá první testovací hodnota váhy. Jedná se o polovinu možného rozsahu, u horní hladiny je to prostor mezi váhou a hodnotou 1 a u dolní hladiny prostor mezi váhou a hodnotou nula. Z toho se následně vypočítají parametry γ a β .;
- 3) Krokovací cyklus uvnitř cyklu hladinového pro opakovaný výpočet konečné hladiny. Počet kroků je určován vstupní hodnotou samotné funkce.
- 4) Tento cyklus přepíná mezi alternativami. Provede úpravu *pis* a *nis* vektoru podle (1.41 a 1.42). S takto upravenými hodnotami se provede výpočet D a D^+ a následně Cl . Výsledné pořadí alternativ se porovná s původním pořadím. Pokud je pořadí zachováno zvětšuje se odstup od původní hodnoty váhy a současná hodnota upravené váhy se uloží do registru platných hodnot. V případě, že výsledek TOPSIS je rozdílný, zmenší se odstup upravené váhy od původní (nebo předchozí) na polovinu. Dále se provede kontrola případného překročení minimální a maximální hodnoty upravené váhy v intervalu $[0,0001;0,9999]$. Tím cyklus končí.



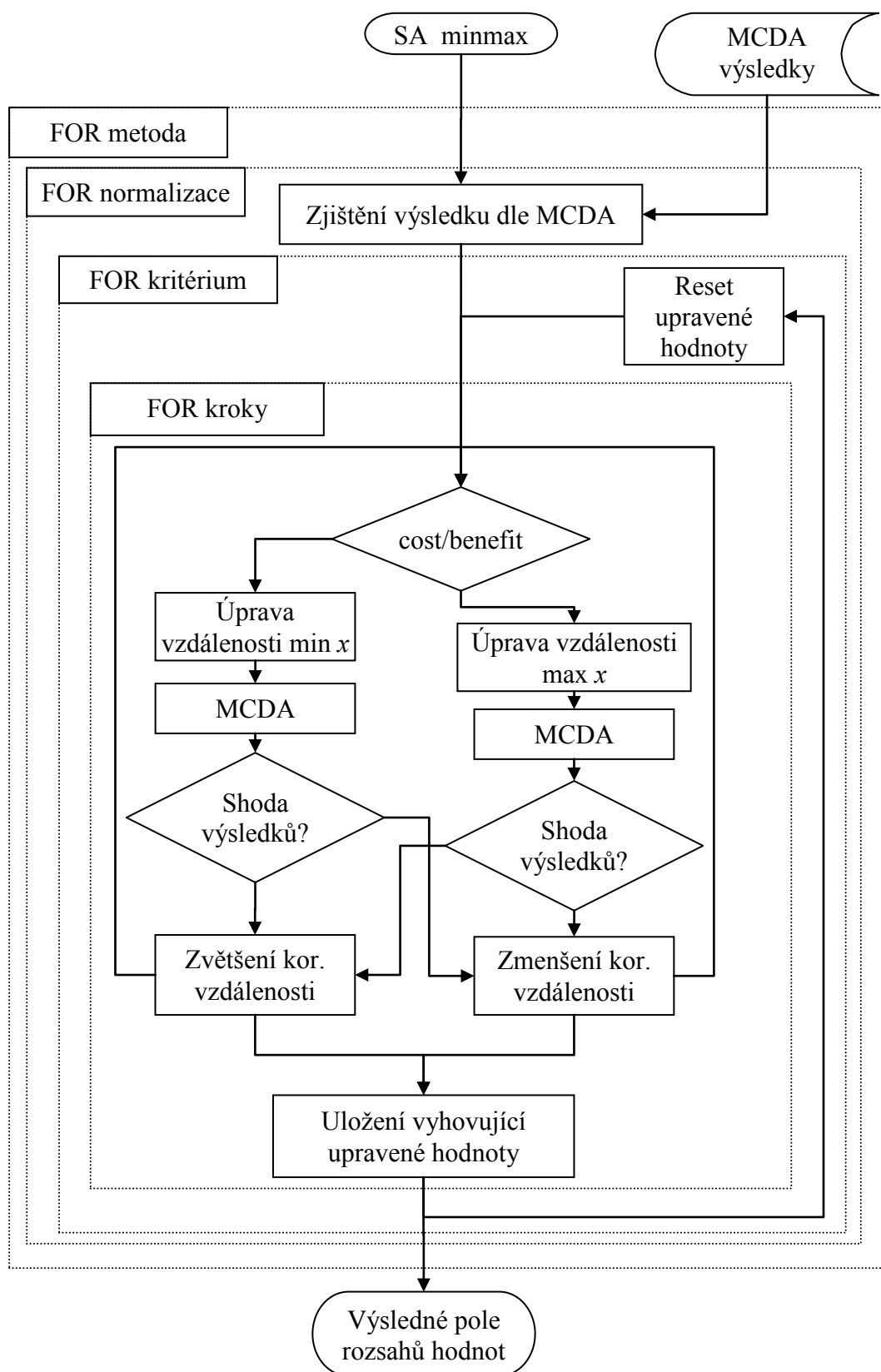
Obrázek 2.4 Algoritmus dílčí funkce *SA_weight*

2.5.6 Dílčí funkce – *SA_minmax*

Algoritmus funkce se výrazně neliší od postupu popsaného v kapitole 2.4.2. Do funkce vstupuje soubor atributů HTA, výsledek celého spektra metod MCDA, které jsou implementovány včetně normalizačních metod, v podobě trojrozměrného pole a parametr počtu kroků pro postupné dělení intervalu dílčí váhy. Systém dílčí funkce jen na obrázku 2.4.

Celý algoritmus je rozčleněn do čtyř do sebe uzavřených podcyklů:

- 1) Zajišťuje postupné přepínání MCDA metod, počet cyklů se rovná počtu implementovaných MCDA metod. Jinou funkci nemá;
- 2) Cyklus normalizace je uzavřený do přepínače metod, který vybírá jednotlivé normalizační metody. Na začátku cyklu se definují hodnoty z výsledkového pole MCDA a následně se provede normalizace vstupních dat podle předvolené metody;
- 3) Tento cyklus přepíná mezi jednotlivými kritérii a po ukončení vnitřního krokovacího cyklu provede návrat původní hodnoty, která byla testována;
- 4) Krokovací cyklus uvnitř cyklu kritérií pro opakovaný výpočet citlivosti na změnu min/max hodnoty. Počet kroků je určován vstupní hodnotou samotné funkce. Uvnitř cyklu proběhne MCDA z normalizované kritériální matice s upravenou hodnotou min/max pomocí korekční hodnoty, která vzniká postupným dělením intervalu mezi maximální a druhou maximální hodnotou (nebo minimální a druhou minimální) a provede se porovnání výsledku s hodnotou z výsledkového pole. V případě shody výsledků proběhne uložení upravené hodnoty a provede se výpočet nové korekční hodnoty dále od min/max hodnoty. V případě neshody výsledků proběhne úprava korekční hodnoty a provede se výpočet nové testované hodnoty blíže k min/max. Každou změnou se interval dělí na polovinu.



Obrázek 2.5 Algoritmus dílčí funkce SA minmax

2.5.7 Dílčí funkce – discr-stat

Funkce provádí základní deskriptivní statistiku vstupních atributů na hladině významnosti dané na vstupu. Interval spolehlivosti vychází z předpokladu, že vstupní hodnoty pocházejí z normálního rozložení. Je to jen teoretická úvaha. V praxi to tak není, proto se musí ten, kdo vyhodnocuje tuto statistiku zaměřit na původ vstupních hodnot. To platí zejména pro dvoustavové veličiny nebo ordinální data. Místo intervalu spolehlivosti by bylo možná lepší použít Dean-Dixonův Q-test pro malé soubory s Lordovým rozdělením pro eliminaci extrémních hodnot, ale v této práci taková funkce nebyla požadována a statistický modul vznikl jen jako experimentální hodnocení dat. Výsledkem je pole, kde řádky tvoří vlastnosti jednotlivých kritérií a sloupce jsou následující:

- 1) Střední hodnota souboru;
- 2) Směrodatná odchylka;
- 3) Střední chyba průměru;
- 4) Medián;
- 5) Dolní kvartil;
- 6) Horní kvartil;
- 7) Dolní interval spolehlivosti;
- 8) Horní interval spolehlivosti;

2.5.8 Dílčí funkce - podpůrné

Second_max

Jednoduchý skript pro vyhledání druhé nejvyšší hodnoty, který je využíván ve funkci `senzan_TOPSIS` k vyhledání hodnoty, ke které je maximální hodnota přibližována (S-1.43).

$$y = \max(x(x < \max(x))); \quad (\text{S-1.43})$$

Second_min

Jednoduchý skript pro vyhledání druhé nejnižší hodnoty, který je využíván ve funkci `senzan_TOPSIS` k vyhledání hodnoty, ke které je minimální hodnota přibližována (S-1.44).

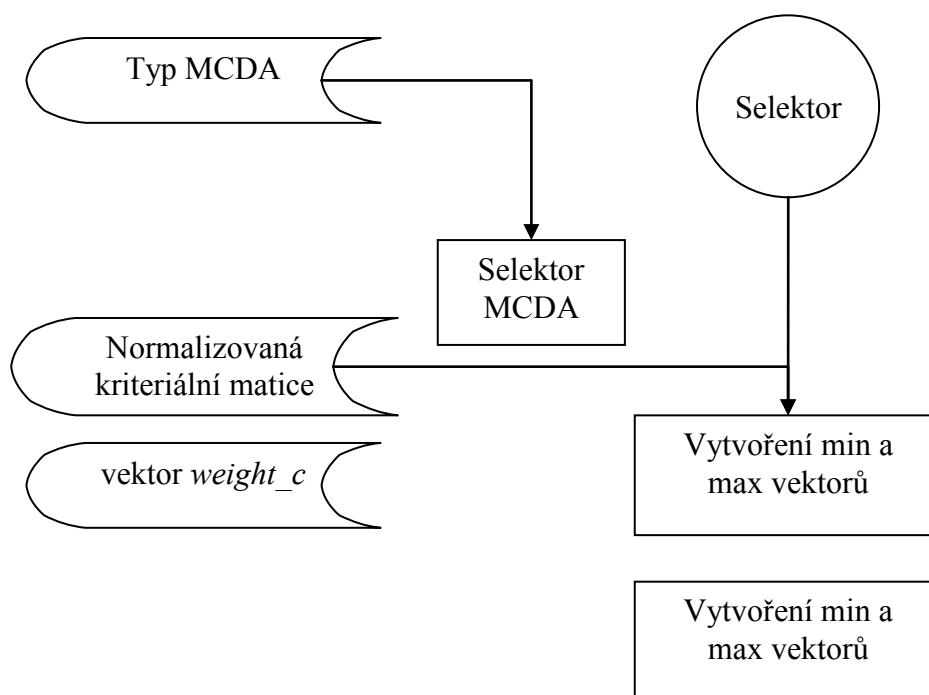
$$y = \min(x(x > \min(x))); \quad (\text{S-1.44})$$

Selector

Jednoduchý skript sloužící k řízení multikritériální analýzy. Je využívána funkce `switch`, která přepíná zvolenou metodu podle vstupních požadavků.

Selector_n

Jednoduchý skript sloužící k řízení normalizace. Je využívána funkce switch, která přepíná zvolenou metodu podle vstupních požadavků.



3 Výsledky

V této kapitole jsou shrnuty výsledky testování normalizačních metod a výsledky numerického testování funkce f_mcd v prostředí MATLAB.

3.1 Testování normalizačních metod

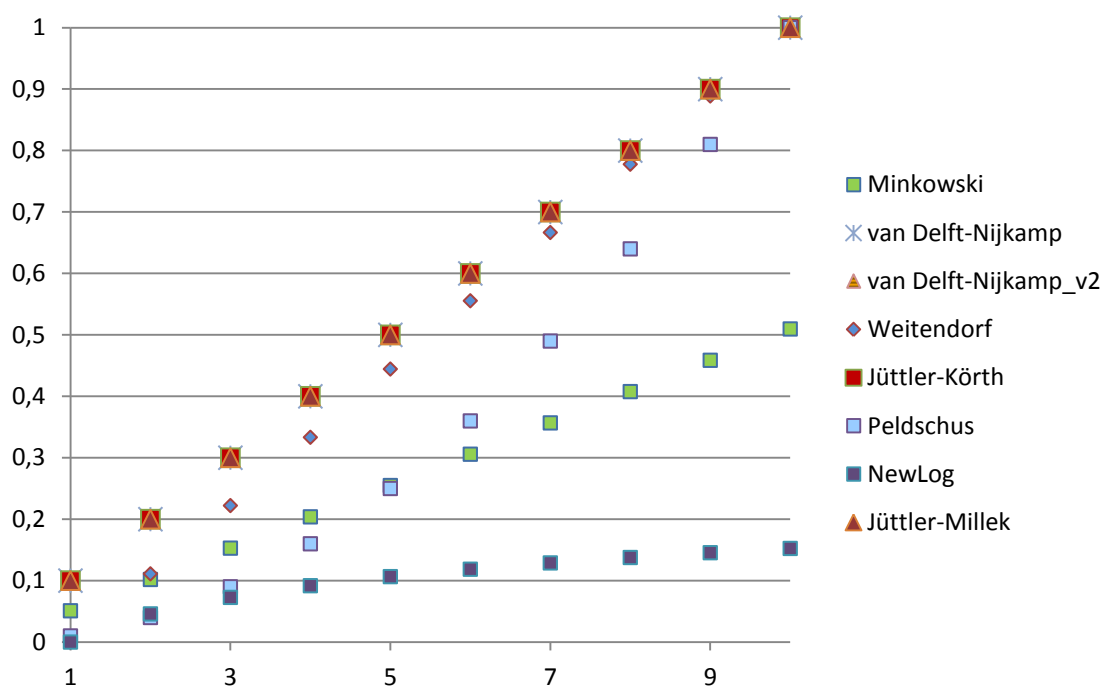
První etapou studia normalizačních metod bylo ověřování způsobu chování normalizace s ohledem na rozsah vstupních hodnot. Sledovány byly vždy varianty pro data typu benefit a cost současně na stejném vzorku hodnot. Vzorky byly uspořádány do sad označených X1-X7. Rozsahy byly postaveny podle nalezené porovnávací studie (Zavadskas a Turskis 2008) a postupně upravovány, protože chyběly některé hodnoty nebo rozsahy používané v HTA. Přehled testovaných sad je v tabulce 3.1. V kapitole Výsledky jsou dále pouze komentované grafy a tabulky k jednotlivým grafům jsou umístěny do přílohy A (tabulky 3.A.1. až 3.A.14.).

Tabulka 3.1 Sady hodnot pro testování normalizačních metod

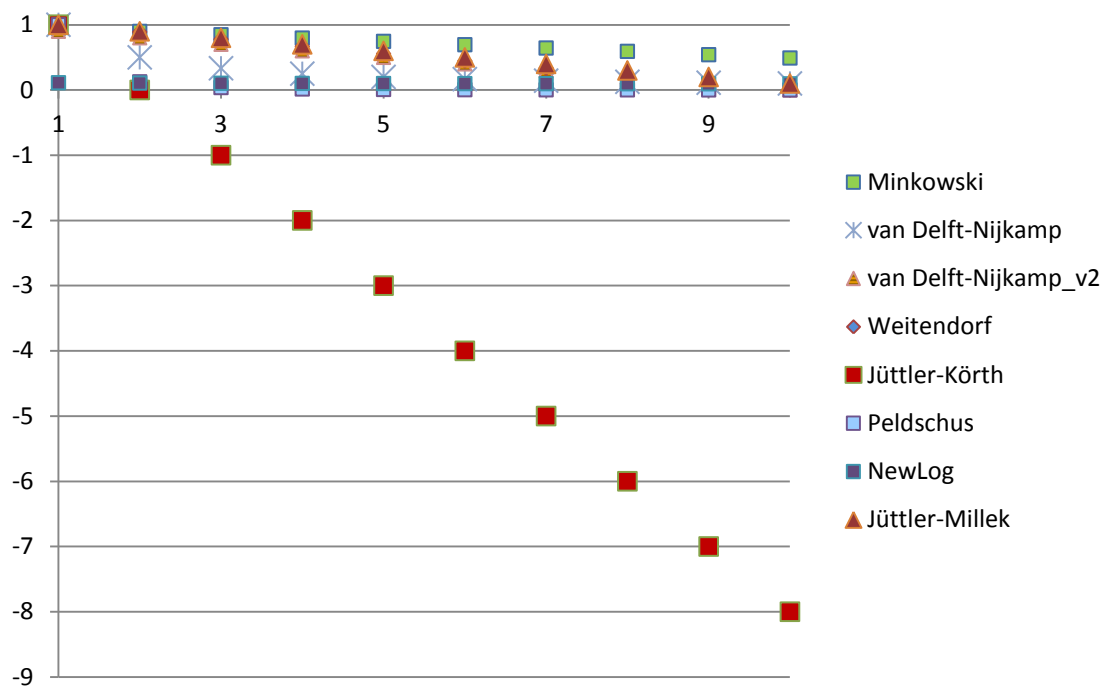
Sada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rozsah
X1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10,000
X2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1,818
X3	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	1,089
X4	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1,009
X5	1	10	100	1000	10000	100000	1000000	10000000	1E+08	1E+09	1,000E+09
X6	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00	1,000E+08
X7	2,00E-06	3,00E-06	4,00E-06	5,00E-06	6,00E-06	7,00E-06	8,00E-06	9,00E-06	1,00E-05	1,10E-05	5,500

3.1.1 Sada hodnot X1

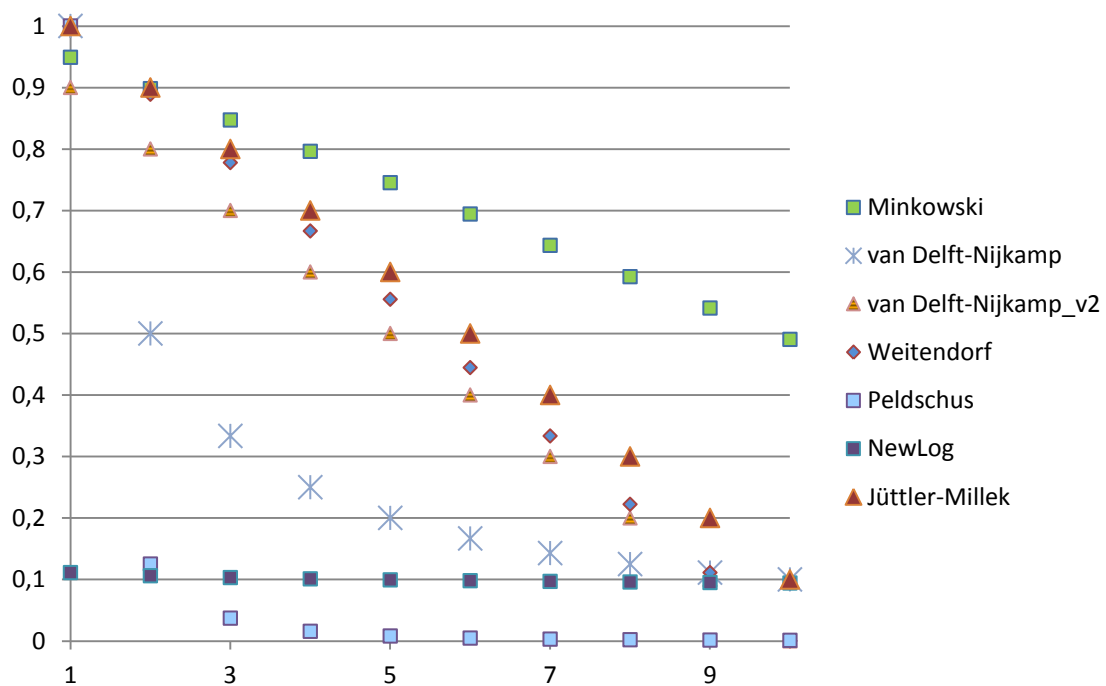
První sada hodnot popisuje rozsah [1;10]. Zdálo by se, že nebude ničím složitým, může popisovat v HTA například počet rozšiřujících modulů nebo kusů příslušenství. Rozsah hodnot max-min je 9 a poměr hodnot max/min je 10. Existují metody, které s tímto rozsahem mají problém. V případě benefitního typu dat je na grafu č. 3.1 je vidět úplná shoda čtyř metod (obě varianty metod van Delft-Nijkamp i Jüttler). Mírně se odlišuje metody Weitendorf. Ale pokud by se jednalo o data typu cost atribut, je situace výrazně jiná, přestože se jedná o metody, které by měly jen opačným způsobem vyhodnotit vstupní data. Zde zásadně vybočuje metoda Jüttler-Körth, u které se projeví problém poměru minimální hodnoty, a celkového rozsahu hodnot viz graf č. 3.2. Pro přehlednost byl vytvořen stejný graf č. 3.3 bez metody Jüttler-Körth. Zde je vidět přibližnou podobu normalizovaných hodnot benefit a cost atributů u metod van Delft-Nijkamp_v2, Weitendorf a Jüttler-Millek. Poslední zmiňovaná přesně kopíruje chování metody Jüttler pro data typu benefit, pochopitelně s opačným sklonem.



Graf 3.1 Sada X1 - atributy typu benefit



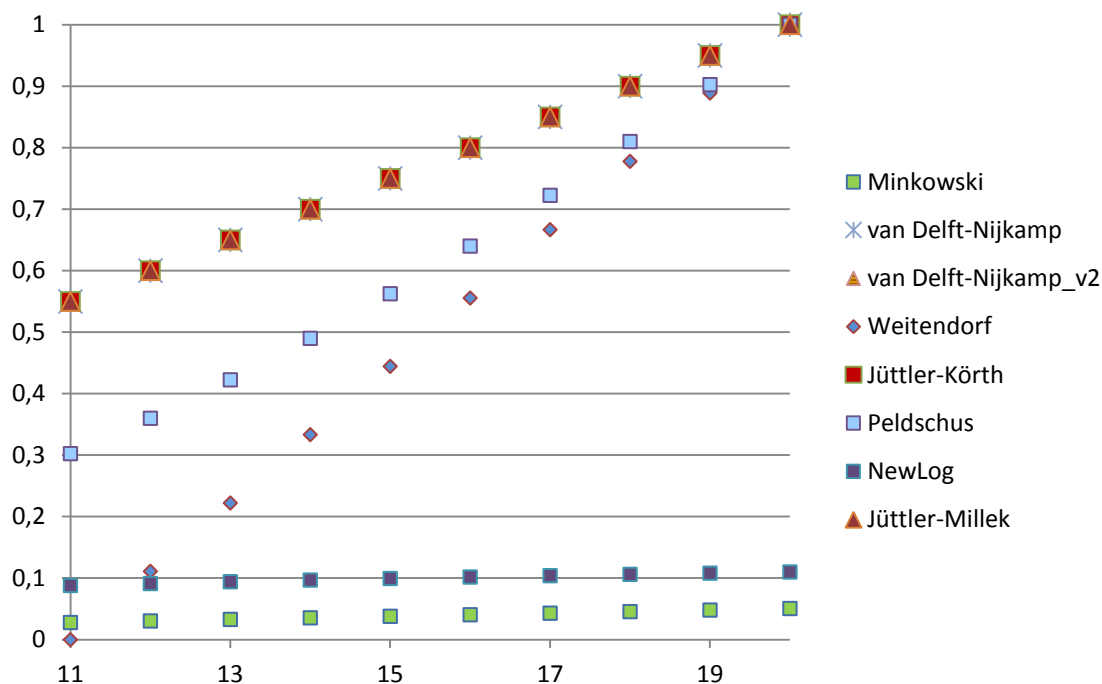
Graf 3.2 Sada X1 - atributy typu cost



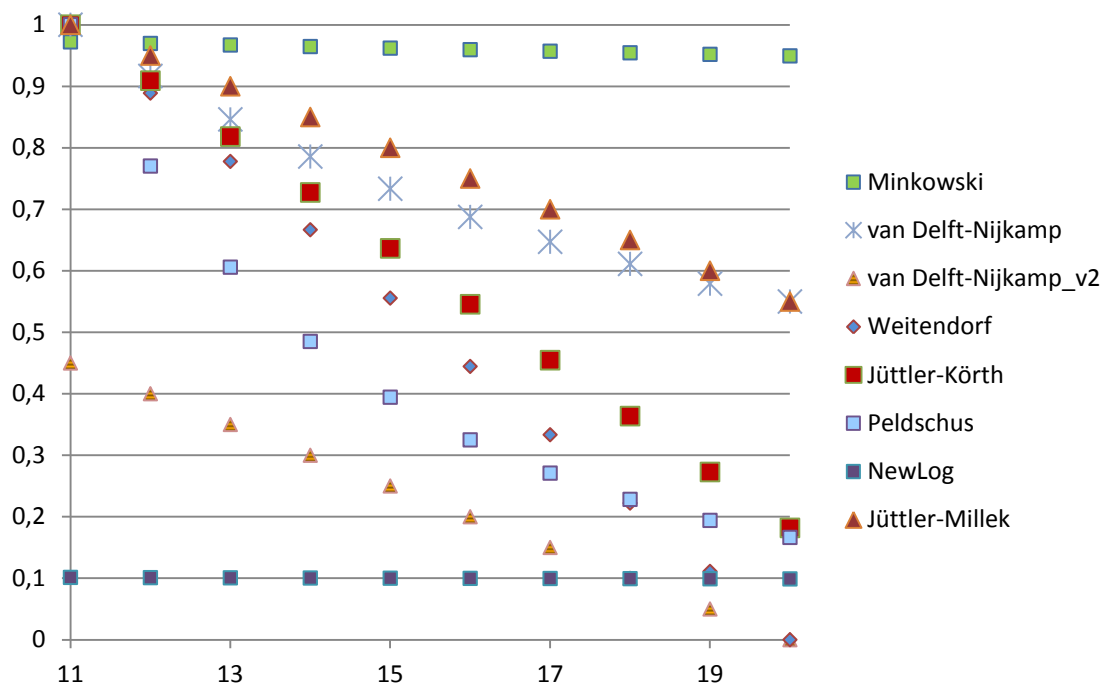
Graf 3.3 Sada X1 - atributy typu cost bez metody Jüttler-Körth

3.1.2 Sada hodnot X2

Sada hodnot X2 popisuje rozsah [11;20]. Sada může popisovat v HTA například opět podobné vlastnosti jako u sady X1 nebo počet opakovaných použití před povinnou kontrolou či životnost spotřebního materiálu. Rozsah hodnot max-min je znovu 9, ale poměr max/min je 1,82. V případě benefitního typu dat je na grafu č. 3.4 je znovu vidět úplná shoda čtyř metod (obě varianty metod van Delft-Nijkamp i Jüttler). Podobně se chovají další dvě metody Peldschus a Weitendorf, jen se odlišují sklonem a počátkem. V případě, že by se jednalo o data typu cost, dochází k velikému rozptylu normalizovaných hodnot viz graf č. 3.5. Svoji podobu normalizace s daty typu benefit si zachovávají jen tři metody Weitendorf, NewLog a Jüttler-Millek. Metoda van Delft-Nijkamp přibližně kopíruje své chování pro benefit data. Ostatní metody mají výrazně odlišné počátky, konce i sklony trendů při porovnání s výsledky normalizace sady X2 typu benefit.



Graf 3.4 Sada X2 - atributy typu benefit



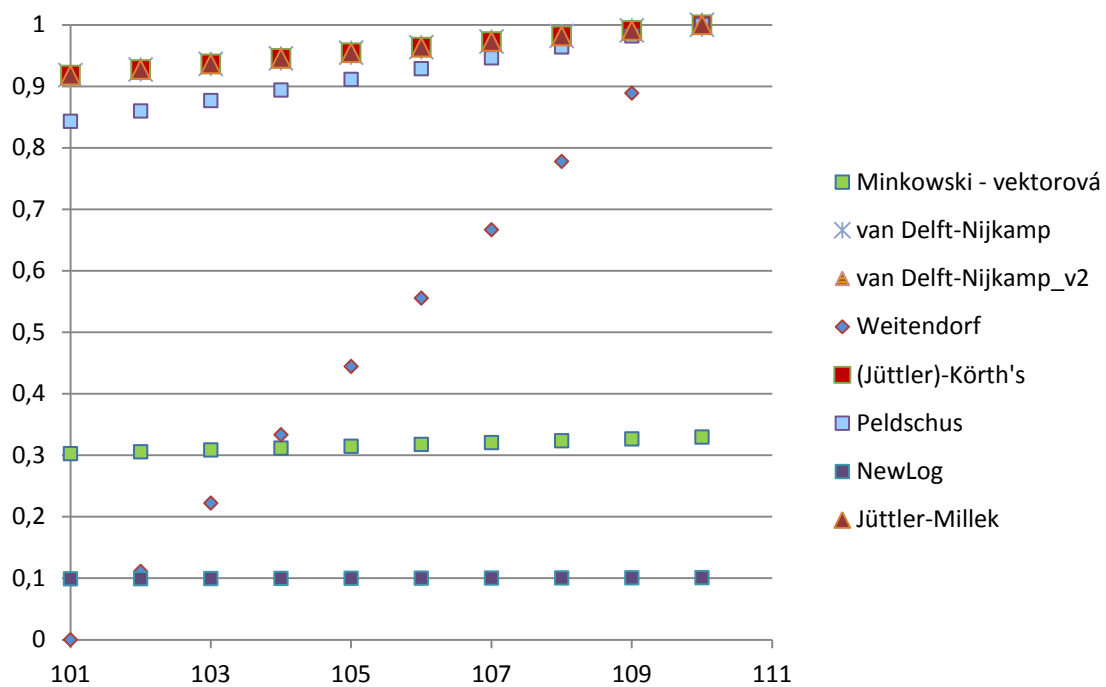
Graf 3.5 Sada X2 - atributy typu cost

3.1.3 Sada hodnot X3

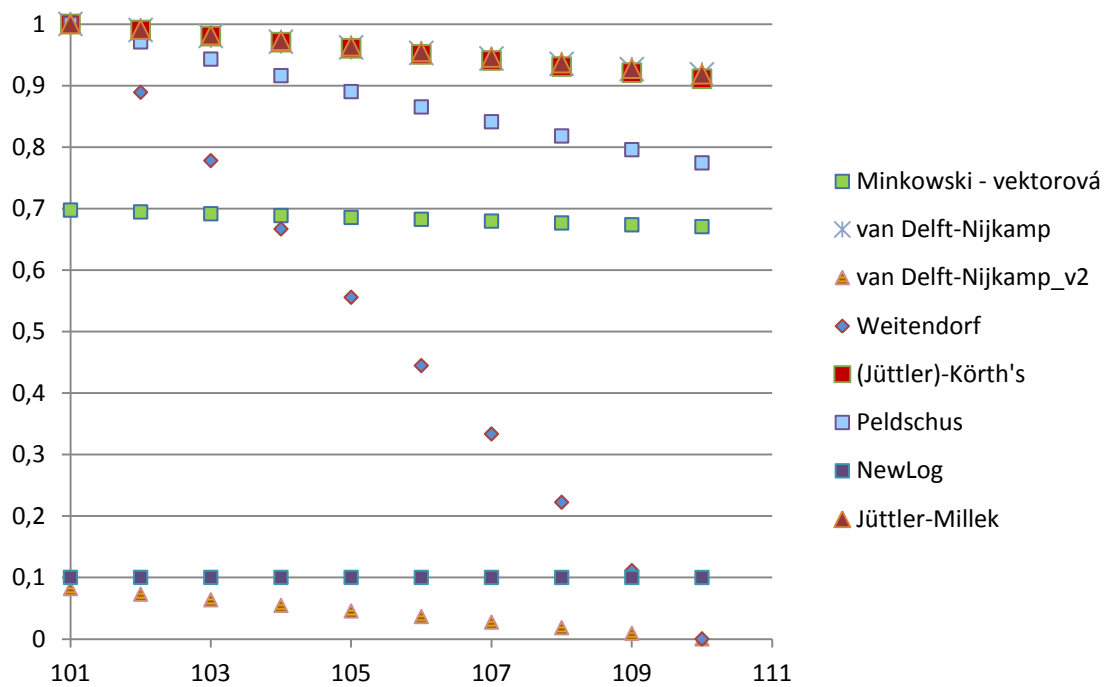
Tato sada ověřuje chování normalizačních metod při poměru hodnot souboru max/min 1,089. Velmi se podobá výsledkům sady X2, ale sklony trendů jsou menší (více se blíží vodorovné linii). Jen metoda Weitendorf zůstává stabilně na svém sklonu a počátcích i koncích viz grafy č. 3.6. a 3.7.

3.1.4 Sada hodnot X4

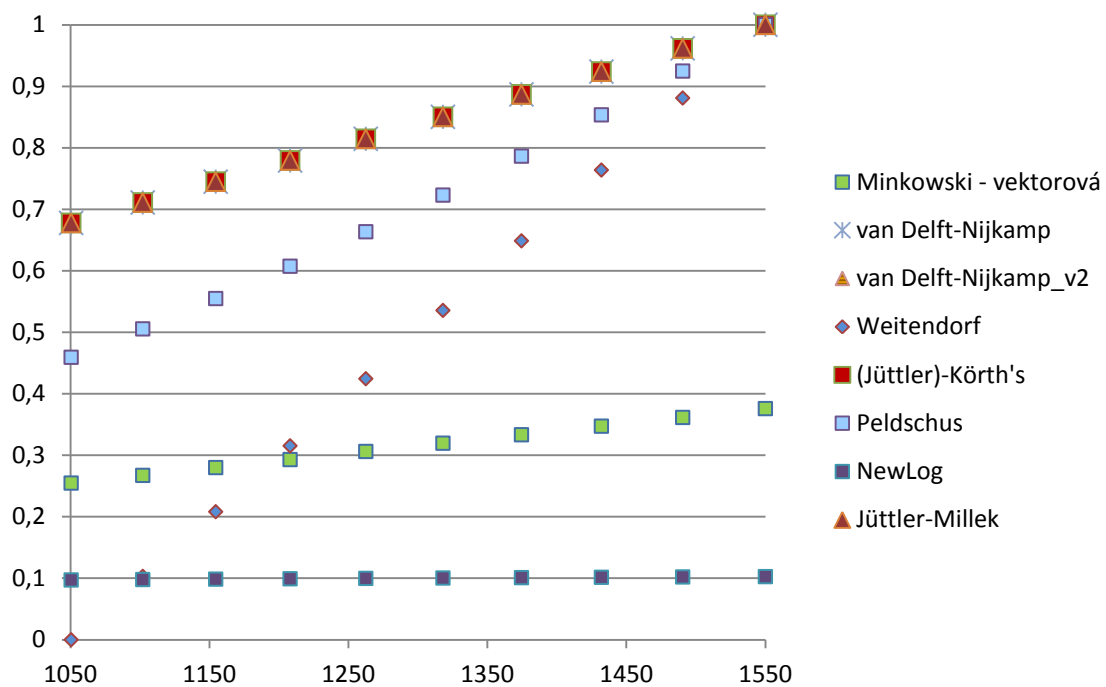
Tato sada ověřují chování normalizačních metod při poměru hodnot souboru max/min 1,475, ale při stokrát vyšších hodnotách. Podobá se tedy výsledkům sady X2. Tato sada může například popisovat cenu levnějšího spotřebního materiálu. Opět je vidět podobnost chování metod Jüttler-Millek van Delft-Nijkamp, i když se u prostředních hodnot cost atributů mírně odchyľují. Přestože se v této oblasti křivka grafu metody van Delft-Nijkam prohýbá, tak je to výrazně méně než u metody Peltschus viz grafy č. 3.8. a 3.9.



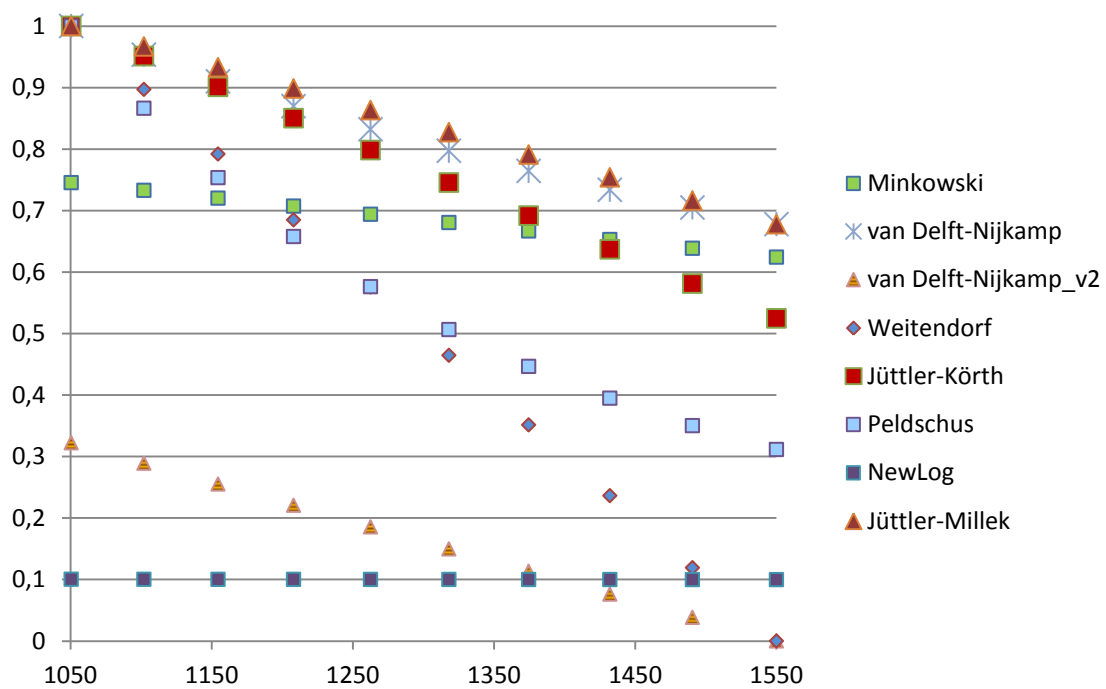
Graf 3.6 Sada X3 - atributy typu benefit



Graf 3.7 Sada X3 - atributy typu cost



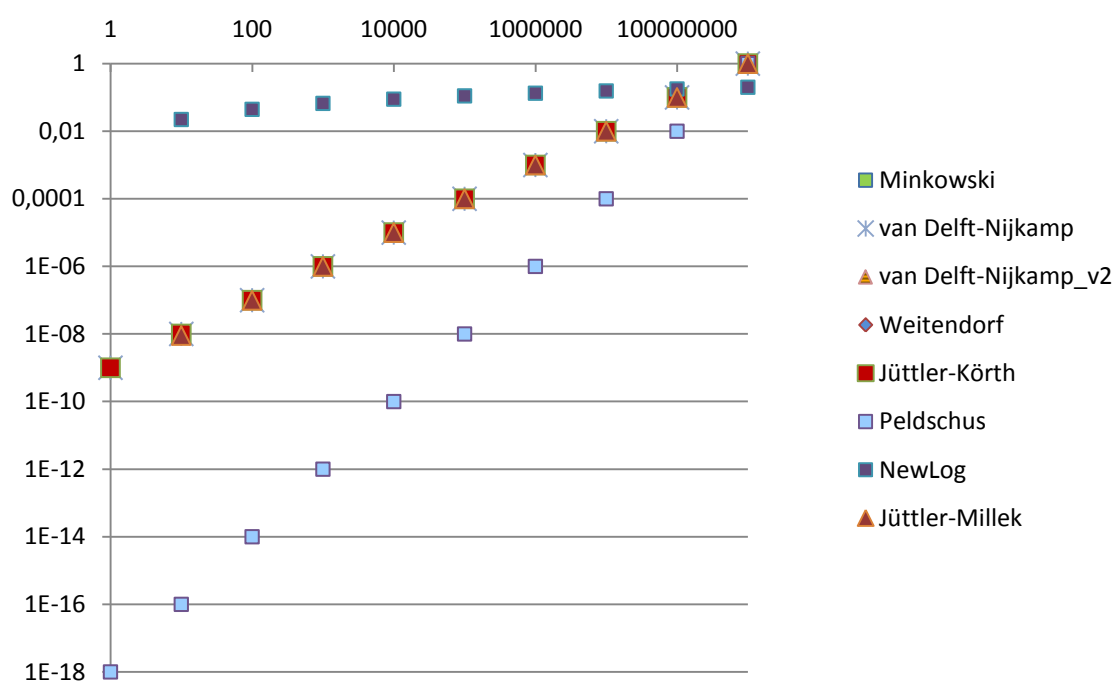
Graf 3.8 Sada X4 - atributy typu benefit



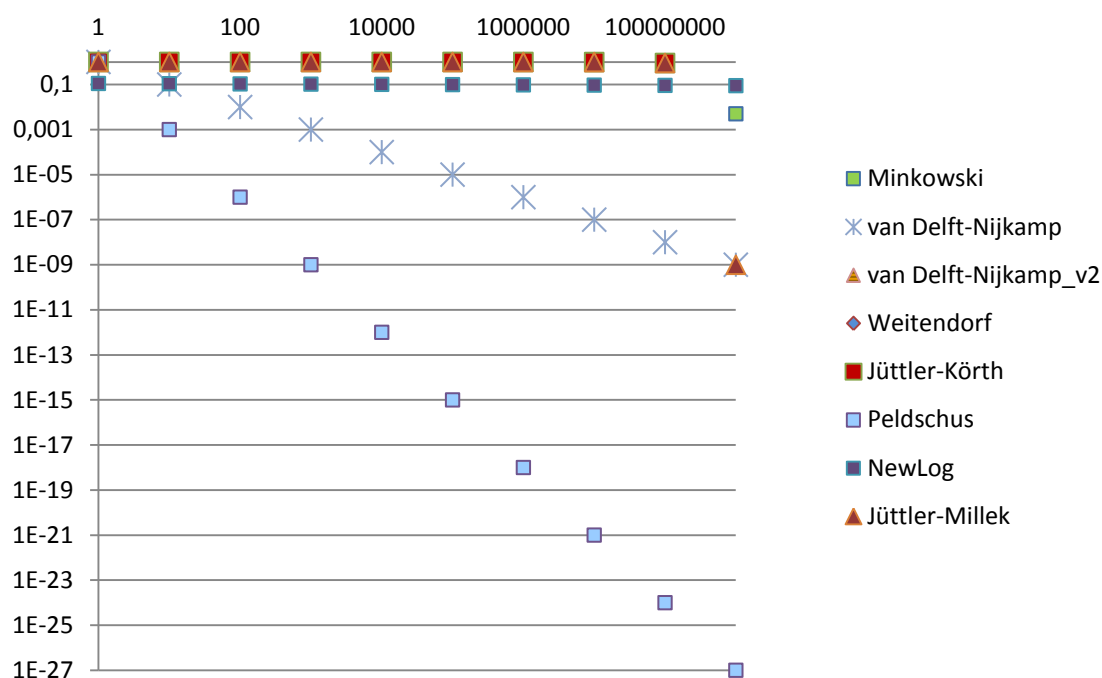
Graf 3.9 Sada X4 - atributy typu cost

3.1.5 Sada hodnot X5

Sada hodnot X5 testuje normalizační metody z hlediska velikých rozsahů (1×10^8). V praxi se však takový rozsah hodnot nepředpokládá. Chování metod je vcelku podobné, jen vybočují metody Peldschus, která se liší až o devět řádů. V grafech č. 3.10 a 3.11 jsou použita logaritmická měřítka pro osu y, proto chybí v grafech nulové hodnoty. Těch dosahují metody Weitendorf a NewLog pro hodnotu 1 v grafu č. 3.10 a metody van Delft-Nijkamp_v2, Weitendorf a Jüttler-Korth pro hodnotu 1×10^8 .



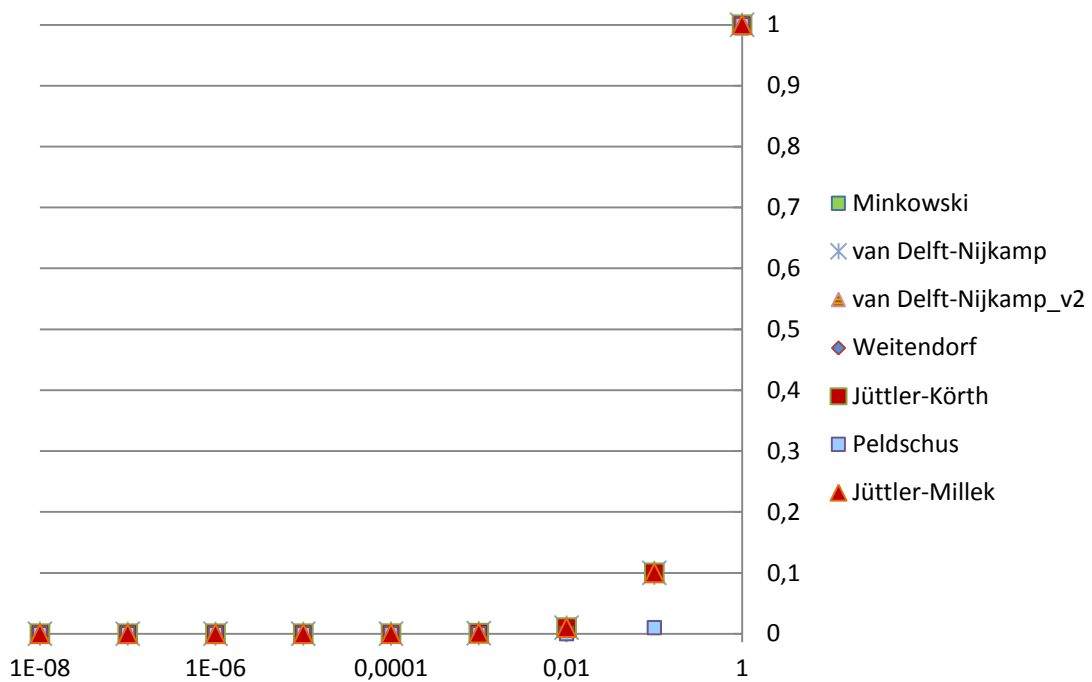
Graf 3.10 Sada X5 - atributy typu benefit



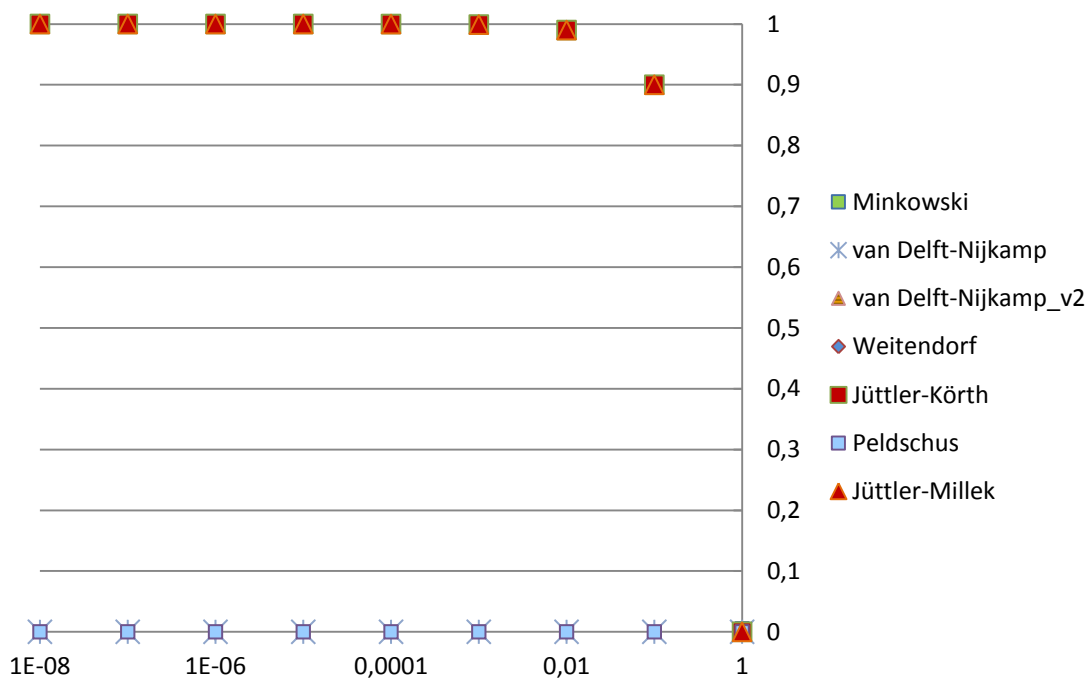
Graf 3.11 Sada X5 - atributy typu cost

3.1.6 Sada hodnot X6

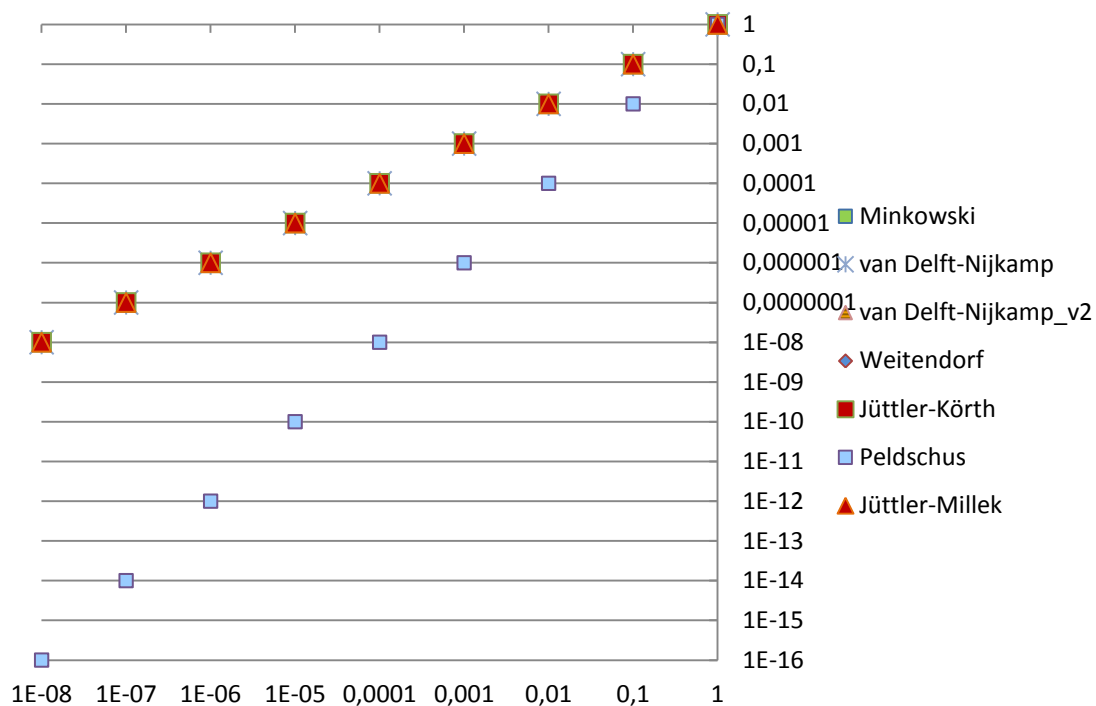
Sada hodnot X6 testuje normalizační metody z hlediska malých hodnot. V praxi se však tak široký rozsah hodnot nepředpokládá. Chování metod je podobné, kromě metody NewLog, která je pro hodnoty v intervalu $(0;1)$ naprosto nepoužitelná, proto není v grafech této sady zobrazena. Pro zobrazení v grafech č. 3.12 a 3.13 byla použita logaritmická stupnice pouze pro osu x, proto nejsou zobrazeny všechny hodnoty. V grafu č. 3.12 chybí hodnoty 0 pro vstupní hodnotu 0. A v grafu č. 3.13 chybí rovněž všechny hodnoty pro vstupní hodnotu 0, kromě metody Minkowski. V grafech č. 3.14 a 3.15 jsou použita logaritmická měřítka pro osy x, y, proto opět chybí v grafech nulové hodnoty pro vstupní hodnotu 1, kromě metody Minkowski. V grafu č. 3.15 chybí všechny hodnoty metody Peldschus, protože při vstupní hodnotě 1 vychází dělení nulou a pro ostatní vstupní hodnoty je výsledek roven 0. Dělení nulou vzniká i u metody van Delft-Nijkamp pro vstupní hodnotu 1.



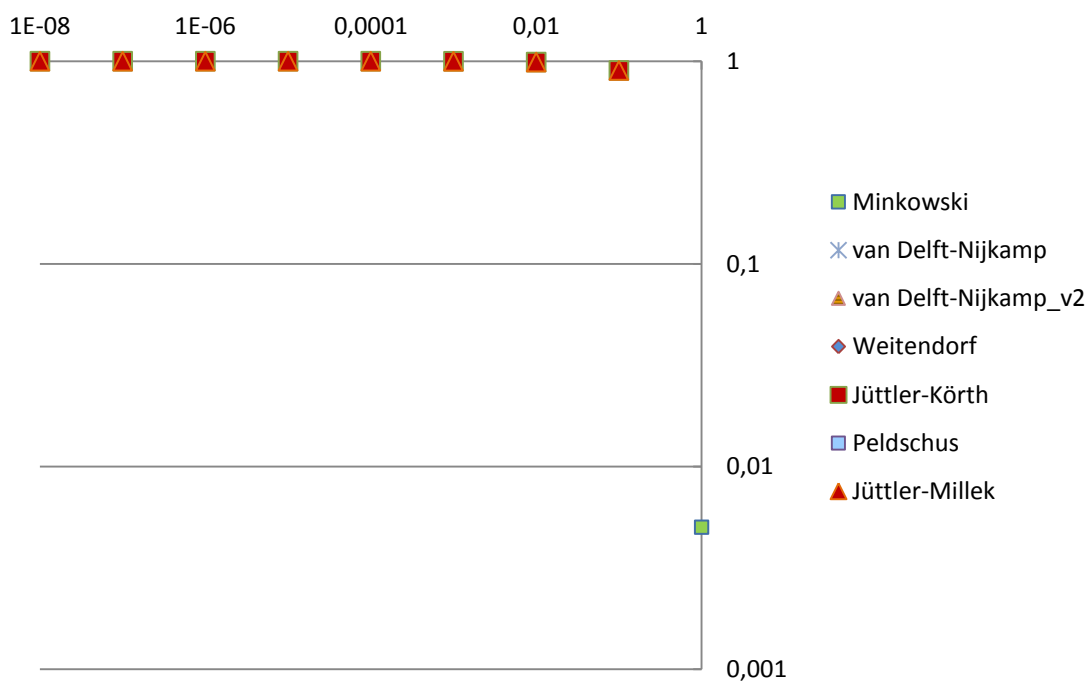
Graf 3.12 Sada X6 - atributy typu benefit (log-měřítka x)



Graf 3.13 Sada X6 - atributy typu cost (log-měřítka x)



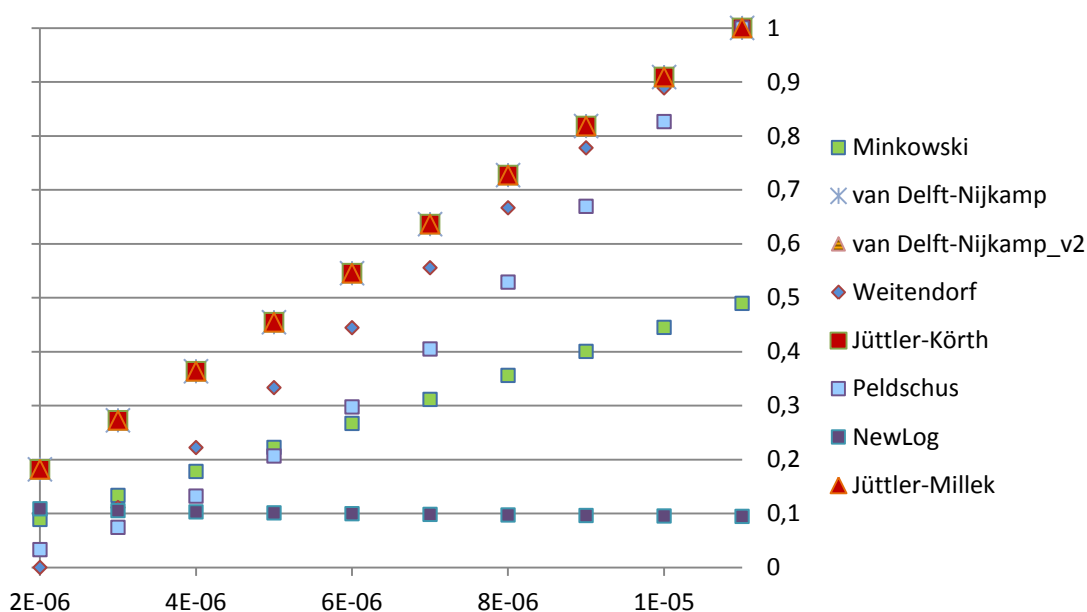
Graf 3.14 Sada X6 - atributy typu benefit (log-měřítko x,y)



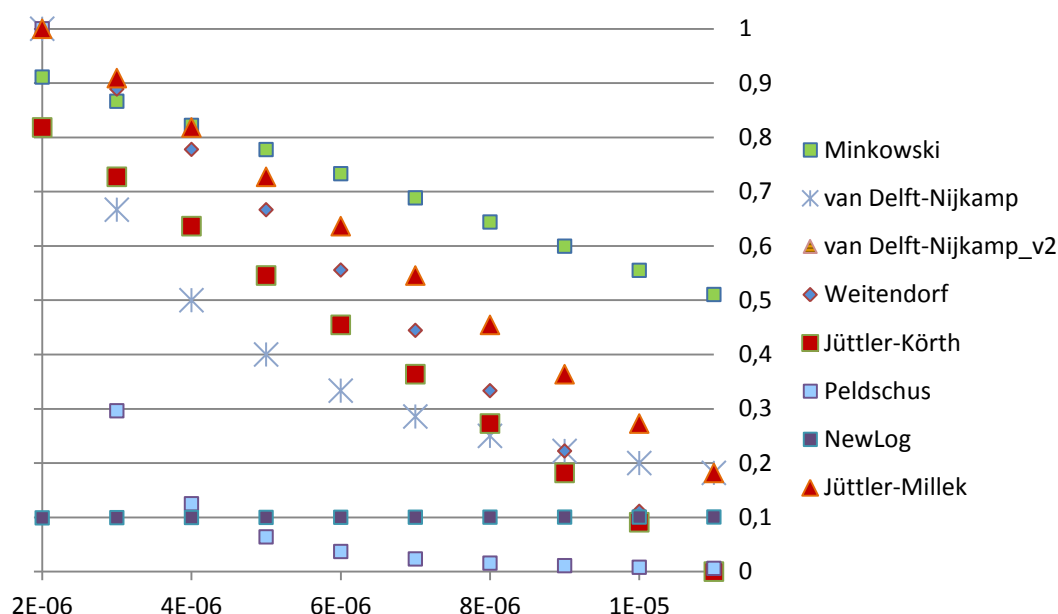
Graf 3.15 Sada X6 - atributy typu cost (log-měřítko x,y)

3.1.7 Sada hodnot X7

Sada hodnot X7 vznikla jako test normalizačních metod z hlediska malých hodnot a jejich malého rozsahu. Poměr vstupních hodnot max/min je 5,5. V praxi by se mohlo jednat například o rozlišovací přesnost a o pár řádů výše například citlivost vstupních zesilovačů EEG. V grafu č. 3.16 benefit atributů se shodují hodnoty metod van Delft-Nijkamp, a obou metod Jüttler. Podobných hodnot nabývá metoda Weitendorf a s větším odstupem Peldschus. V grafu č. 3.17 cost atributů nabývají podobných hodnot metody Jüttler-Millek a Weitendorf a s větším odstupem Jüttler-Korth.



Graf 3.16 Sada X7 - atributy typu benefit



Graf 3.17 Sada X7 - atributy typu cost

3.2 Testování funkce f_mcdm pro MATLAB

Testování funkce f_mcdm proběhlo ve dvou kolech. První na syntetických datech, aby se ověřila činnost dílčích funkcí, které byly integrovány jako vnitřní funkce finálního výsledku a následně byl získán soubor reálných HTA dat plicních ventilátorů. Soubor obsahuje čtyři alternativy přístrojů a devět kritérií viz tabulka č. 3.2. Struktura sledovaných požadavků a nabývaných hodnot snadno otestuje kritická místa normalizačních metod.

Výstupem testování je přehled pořadí alternativ podle použité rozhodovací metody. Pro každou rozhodovací metodu je udělán přehled pořadí v rámci všech testovaných normalizačních metod. Graficky je prezentována výsledná hodnota a pořadí z funkce f_mcdm , číselné výsledky viz tabulky č. 3.A.15 až 3.A.17. Hodnoty byly získány z výstupních proměnných $varargout\{6\}$ a $varargout\{1\}$.

Výsledné hodnoty jednotlivých metod MCDA byly normalizovány pro každé hodnocení (i normalizační metodu), aby bylo možné stanovit jednotně vzájemnou odchylku alternativ viz tabulka č. 3.A.18

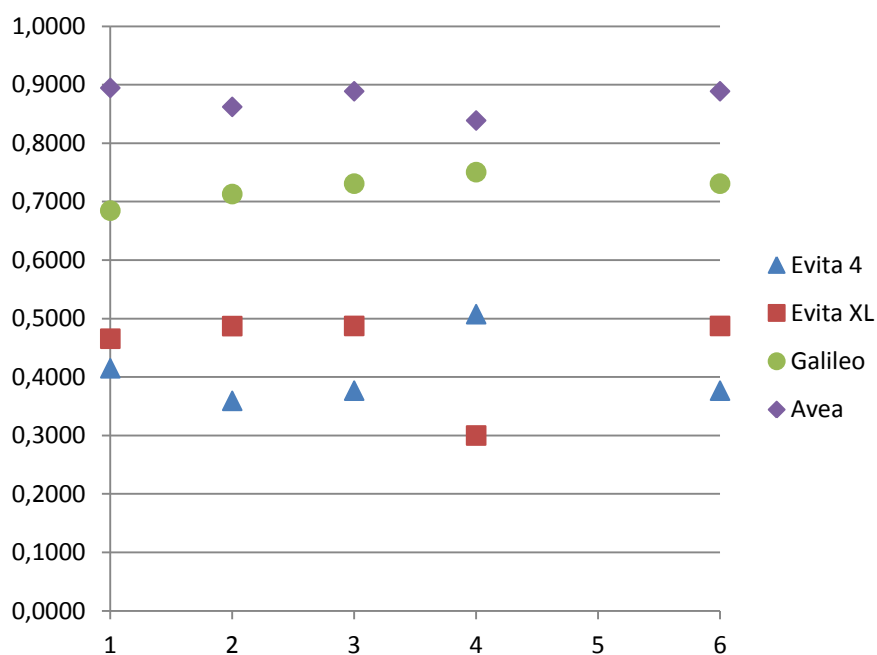
Druhou částí ověřování funkce f_mcdm je výstup z normalizačních metod, který názorně ukazuje rozdíly v chování normalizačních metod v závislosti na vstupních hodnotách z HTA. V tabulkách č. 3.A.19 až 3.A.24 jsou vždy výsledky jednotlivých kritérií srovnány od nevyšší hodnoty k nejnižší a v tomto pořadí zobrazeny do grafů.

Tabulka 3.2 Přehled souboru HTA dat testovaných ve funkci f_meda

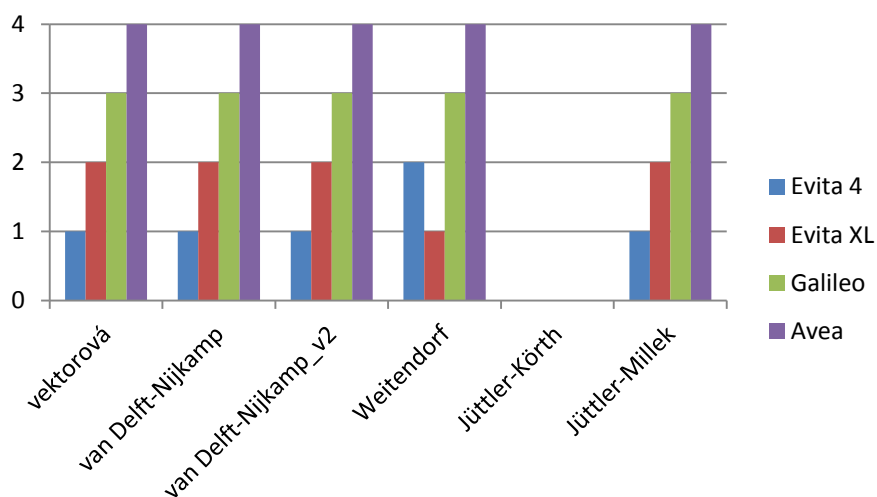
Kritérium	Name	Ord-Card	Cost-benefit	min	max	opt	sigma	weight	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
kr_1	Cena_přístroje	c	c					0,5000	697 777	1 100 000	742 940	719 755
kr_2	Cena_spotřebního_materiálu	c	c					0,1033	19 590	19 590	13 840	8 400
kr_3	Cena_náhradních_dílů	c	c					0,1033	9 468	9 468	5 800	7 500
kr_4	Cena_servisu	c	c					0,1033	7 400	7 400	5 300	4 300
kr_5	Objem_přístroje	c	c					0,0197	511 038	622 050	420 112	125 302
kr_6	Možnost_propojení_s_KIS	c	b					0,1314	0	1	1	1
kr_7	Hmotnost_přístroje nad 36kg	c	c					0,0130	2	6	12	0
kr_8	Neonato/pediatric/adault	c	b					0,0063	2	2	3	3
kr_9	Displej_úhlopříčka	c	b					0,0197	10,4	15	10,7	12,1

3.2.1 TOPSIS

Při testování metody TOPSIS je vidět výpadek výsledných hodnot u metody Jüttler-Körth, protože výstupem normalizační metody byla u některých kritérií záporná čísla. Jediný rozdíl v hodnocení je u linearizační metody Weitendorf a týká se pouze dvou alternativ ze čtyř viz grafy č. 3.18 a 3.19, tabulka hodnot je č. 3.A.15.



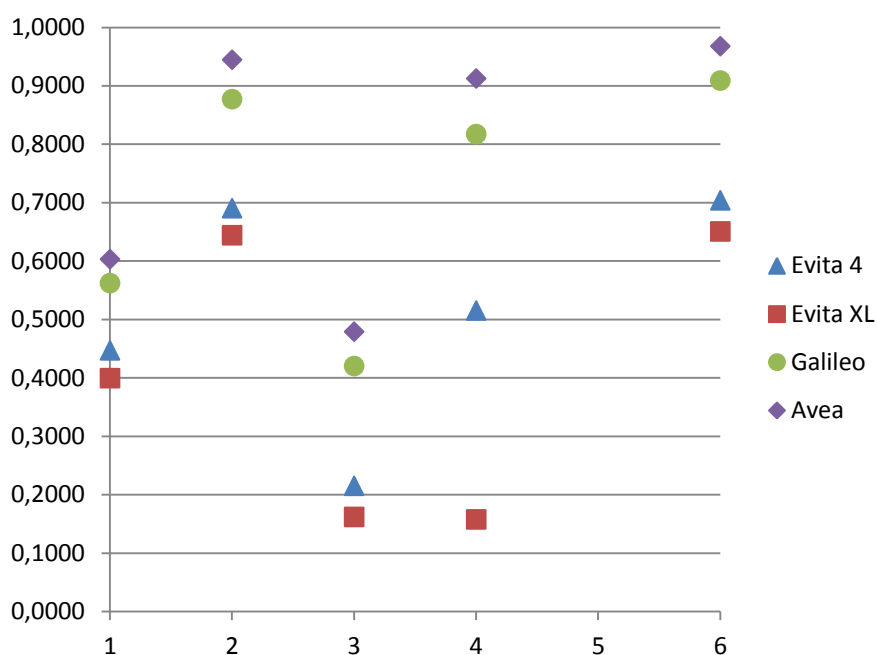
Graf 3.18 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou TOPSIS



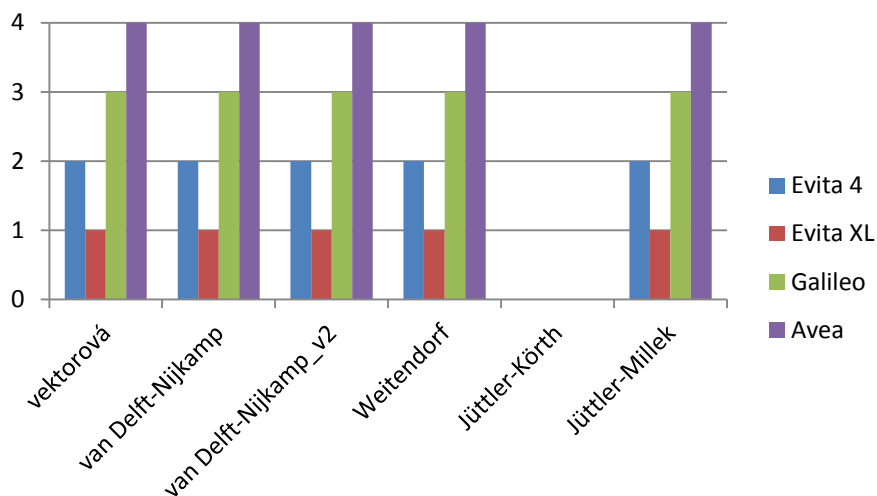
Graf 3.19 pořadí alternativ počítané metodou TOPSIS

3.2.2 SAW

V případě metody SAW jsou výsledky shodné, i v případě normalizační metody Weitendorf, ale opět chybí výsledek u normalizační metody Jüttler-Körth ze stejného důvodu jako tomu bylo u metody TOPSIS. Výsledky zobrazují grafy č. 3.20 a 3.21. Tabulka hodnot je č. 3.A.16.



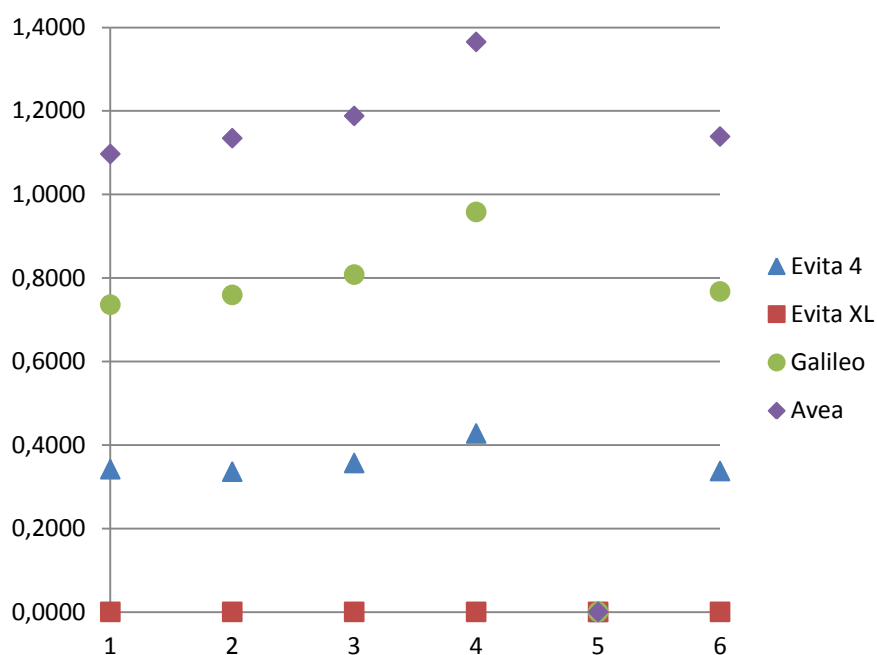
Graf 3.20 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou SAW



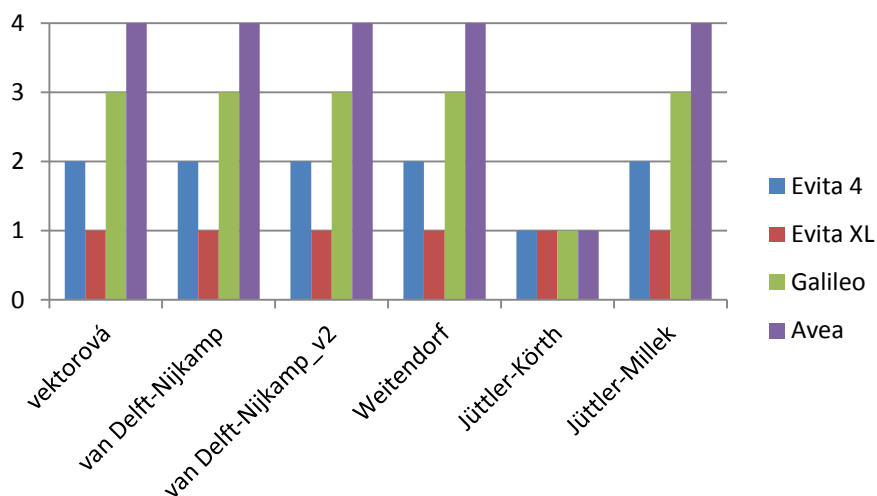
Graf 3.21 pořadí alternativ počítané metodou SAW

3.2.3 WPM

U metody WPM jsou výsledky opět shodné, i v případě normalizační metody Weitendorf, ale výsledek u normalizační metody Jüttler-Körth je sporný ze stejného důvodu jako tomu bylo u metod TOPSIS a SAW. Výsledky zobrazují grafy č. 3.22 a 3.22. Tabulka hodnot je č. 3.A.17.



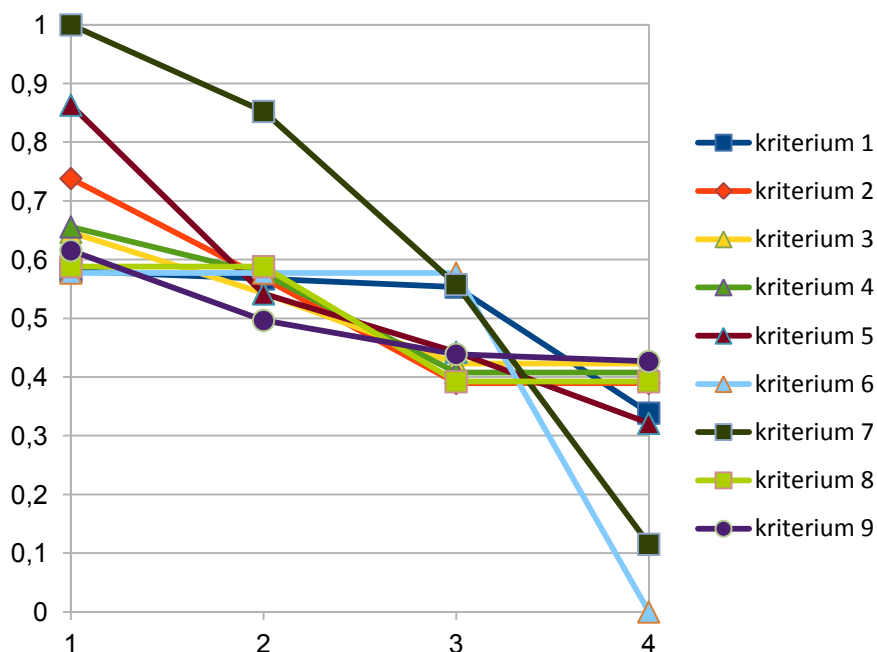
Graf 3.22 výsledných hodnot alternativ počítaných metodou WPM



Graf 3.23 pořadí alternativ počítané metodou WPM

3.2.4 Normalizační metoda Minkowski

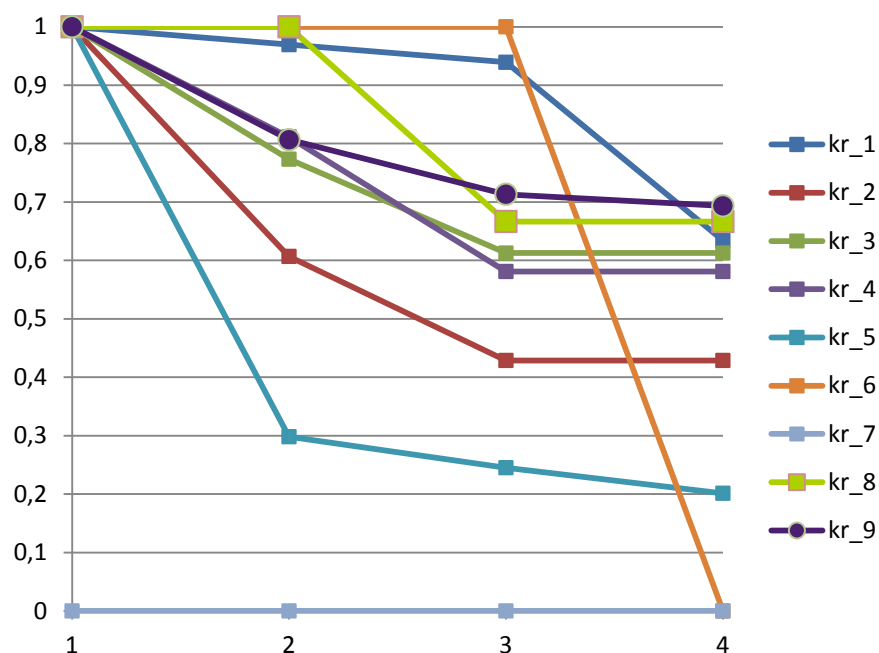
Graf č. 3.24 vektorové normalizační metody dle Minkowského (1.1) a (1.3). Nejlepší normalizované hodnoty jsou v intervalu $[0,58;1]$ a nejhorší normalizované hodnoty jsou v intervalu $[0;0,43]$. Tabulka č. 3.A.19.



Graf 3.24 Průběh Minkowského normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.5 Normalizační metoda van Delft-Nijkamp

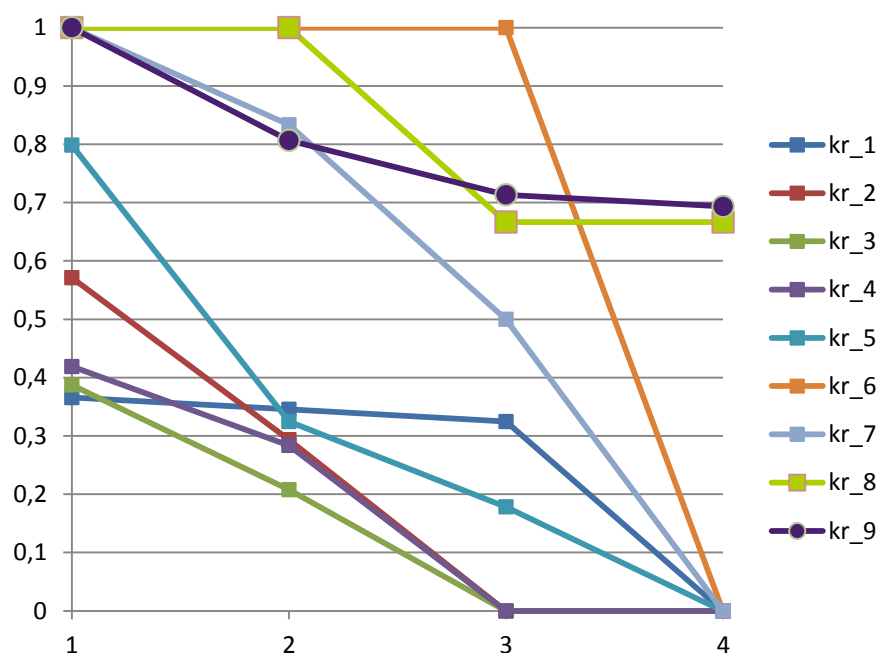
Graf č. 3.24 normalizační metody dle van Delft-Nijkamp (1.4) a (1.5). Všechny nejlepší normalizované hodnoty, kromě kritéria č. 7 mají počátek v hodnotě 1 a klesají různě strmě k hodnotě nula. U kritéria 7 vzniká problém s normalizací hodnot typu cost s přítomností hodnoty nula. Tabulka č. 3.A.20.



Graf 3.25 Průběh van Delft-Nijkamp normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.6 Normalizační metoda van Delft-Nijkamp ver 2

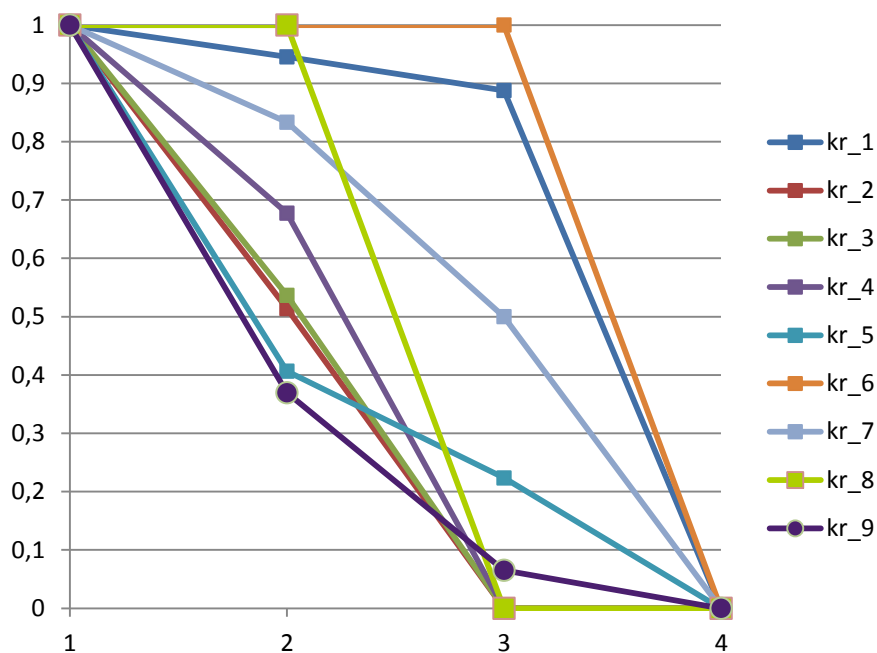
Graf č. 3.26 normalizační metody dle van Delft-Nijkamp (1.4) a (1.6). Nejlepší normalizované hodnoty mají počátek v intervalu $[0,38;1]$ a klesají různě strmě k hodnotě nula. Tabulka č. 3.A.21.



Graf 3.26 Průběh van Delft-Nijkamp ver 2 normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.7 Normalizační metoda Weitendorf

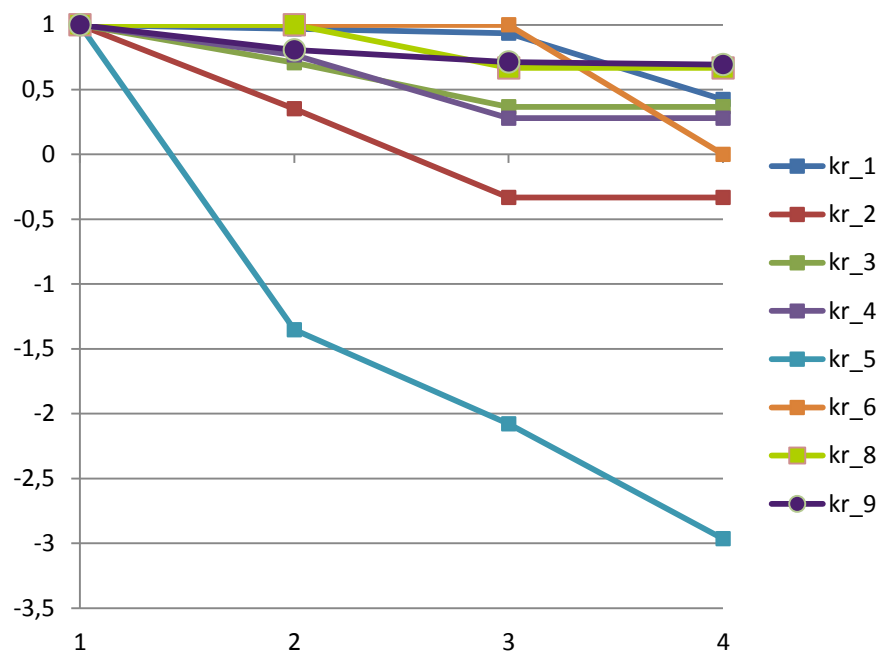
Graf č. 3.27 normalizační metody dle van Delft-Nijkamp (1.7) a (1.8). Nejlepší normalizované hodnoty mají počátek na hodnotě 1 a klesají různě strmě k hodnotě nula. Tabulka č. 3.A.22.



Graf 3.27 Průběh Weitendorf normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.8 Normalizační metoda Jüttler-Körth

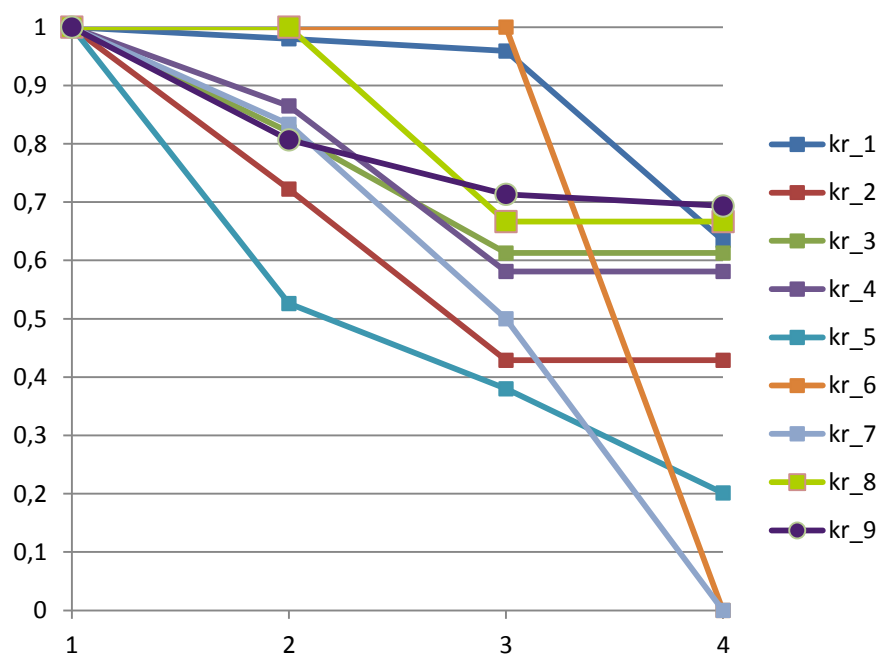
Graf č. 3.28 normalizační metody dle Jüttler-Körth (1.9) a (1.10). Metoda dává pro data typu cost komplikované výsledky. U kritéria 2 a 5 vznikají nežádoucí záporné hodnoty a kritérium 7 není znázorněno, protože nabývá hodnoty mínus nekonečna nebo zakázané provádí dělení nulou. Tabulka č. 3.A.23.



Graf 3.28 Průběh Jüttler-Körth normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.9 Normalizační metoda Jüttler-Millek

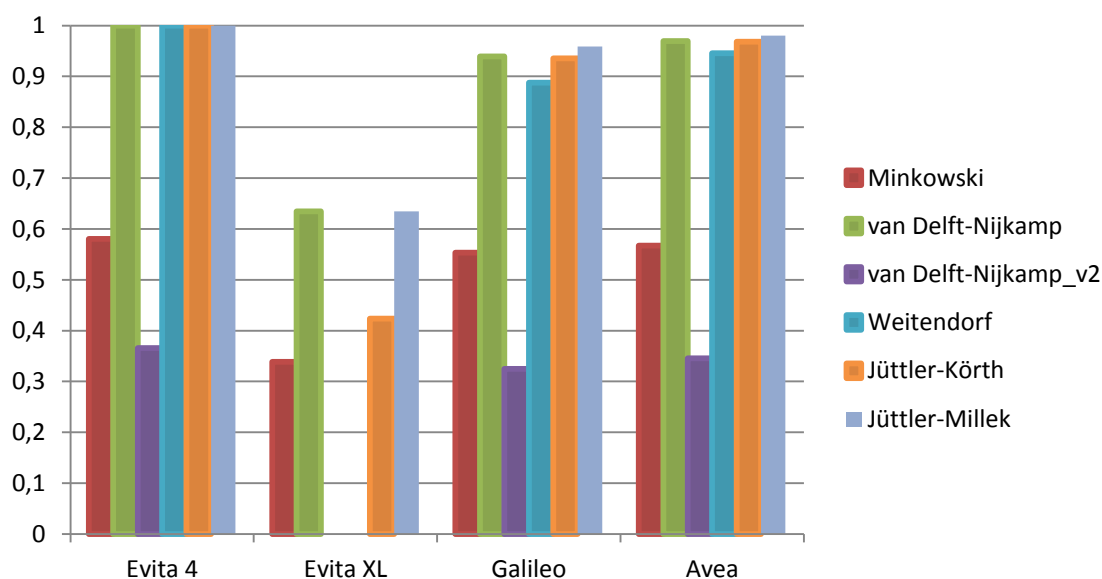
Graf č. 3.29 zobrazuje upravenou normalizační metodu dle Jüttler-Millek (1.9) a (1.11). Metoda dává hodnoty podobné normalizační metodě van Delft-Nijkamp. Nemá, ale problém s normalizací kritéria 2 a 5 a i kritérium 7 nabývá jiných hodnot než nula.



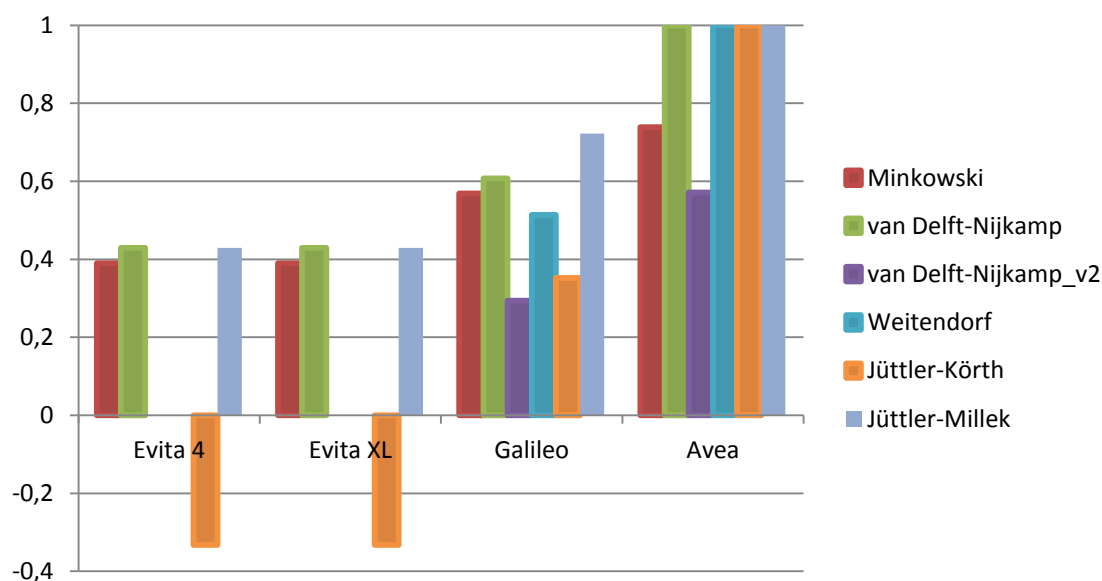
Graf 3.29 Průběh Jüttler-Körth normalizace jednotlivých kritérií sady HTA

3.2.10 Normalizace podle jednotlivých kritérií

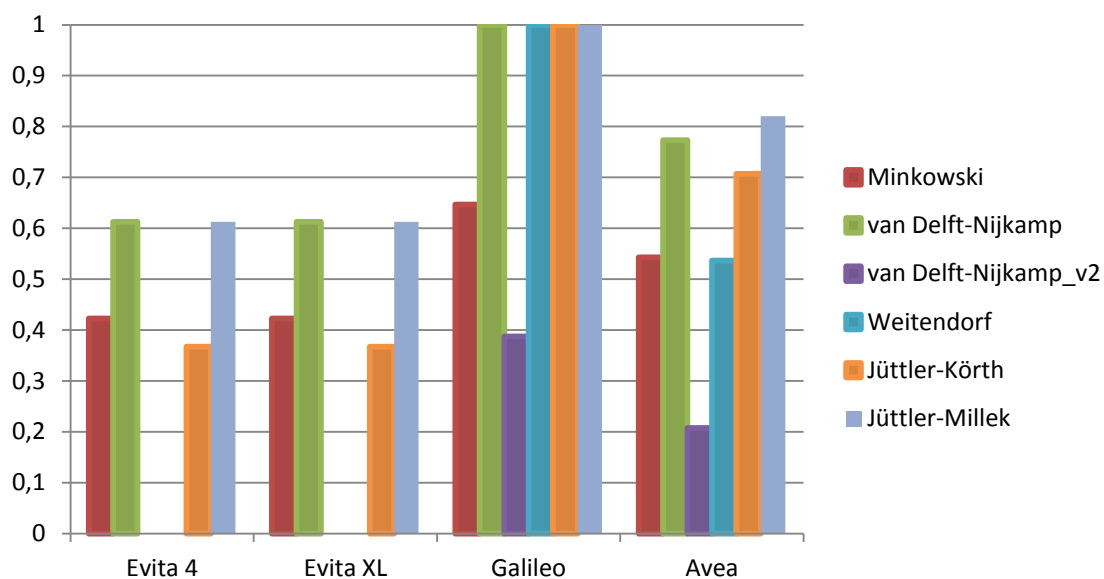
Jiný pohled na výsledek normalizace skýtá srovnání normalizačních metod podle vlivu na jednotlivá kritéria. Následující grafy č. 3.30 až 3.39 znázorňují výslednou hodnotu normalizace stejných vstupních hodnot v závislosti na metodě normalizace viz tabulky č. 3.A.25 až 3.A.27. U kritéria 5 jsou dva grafy, první se všemi hodnotami a druhý pouze s kladnými hodnotami a nulou (grafy č. 3.34 a 3.35). U kritéria 7 nabývají hodnoty metody Jüttler-Körth mínus nekonečna nebo NaN, protože je děleno nulou. Ani jedna taková hodnota nelze graficky vyjádřit a splývá tak s hodnotou nula (graf č. 3.37).



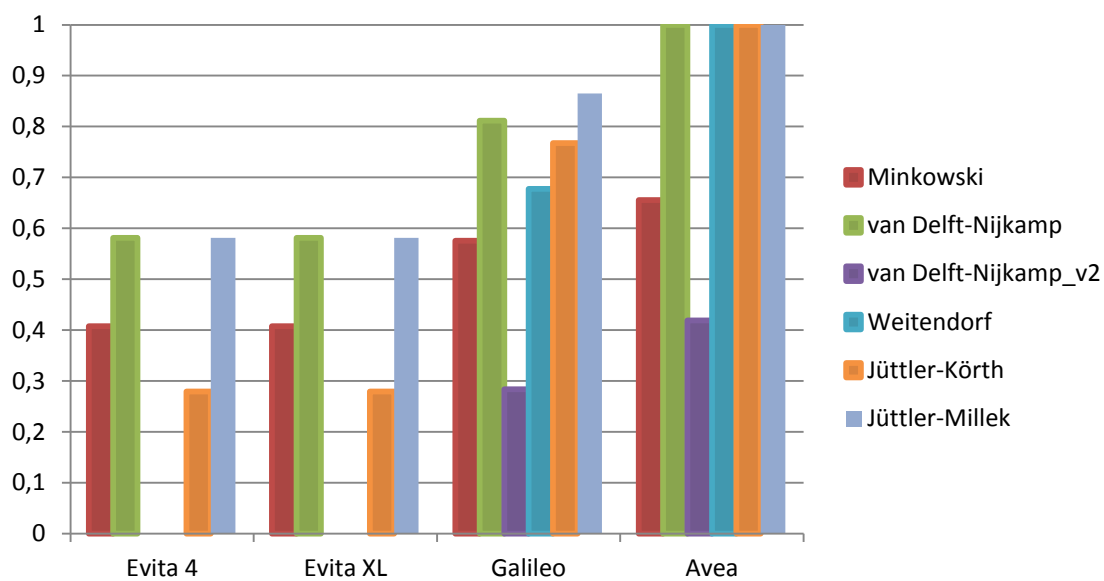
Graf 3.30 Normalizace kritéria č. 1



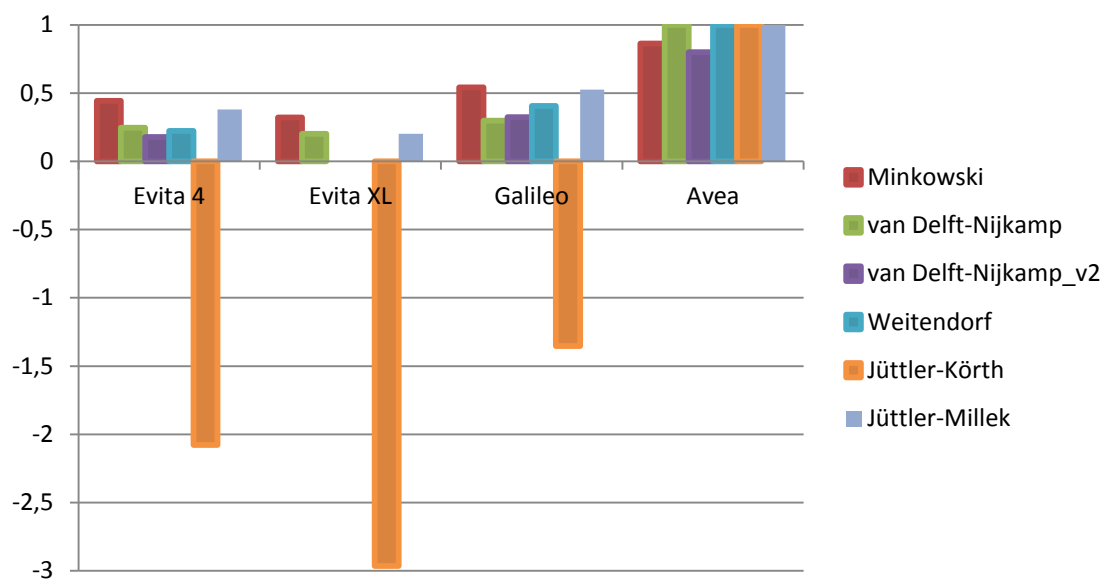
Graf 3.31 Normalizace kritéria č. 2



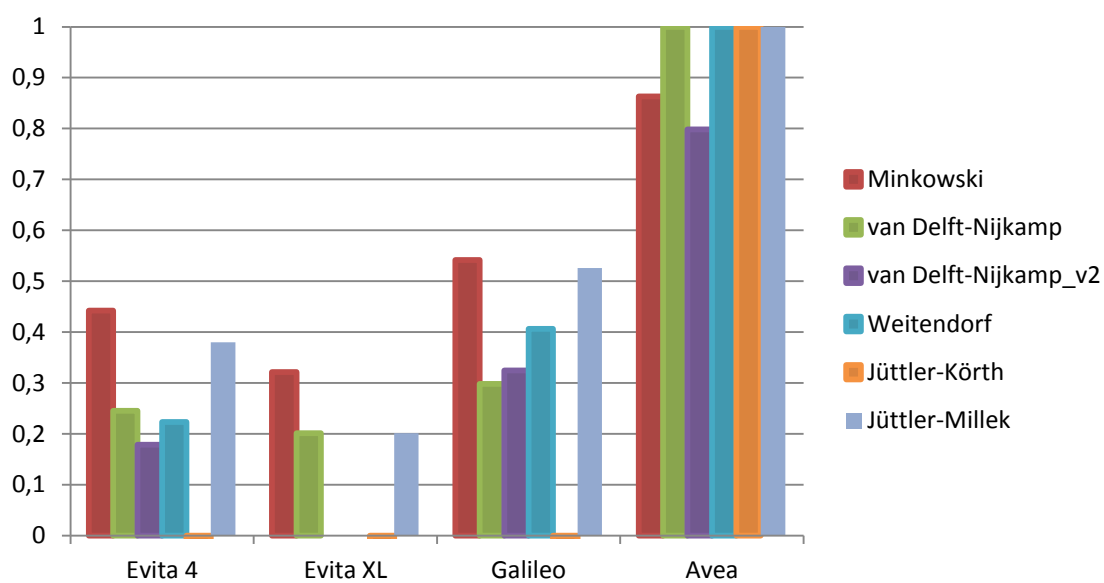
Graf 3.32 Normalizace kritéria č. 3



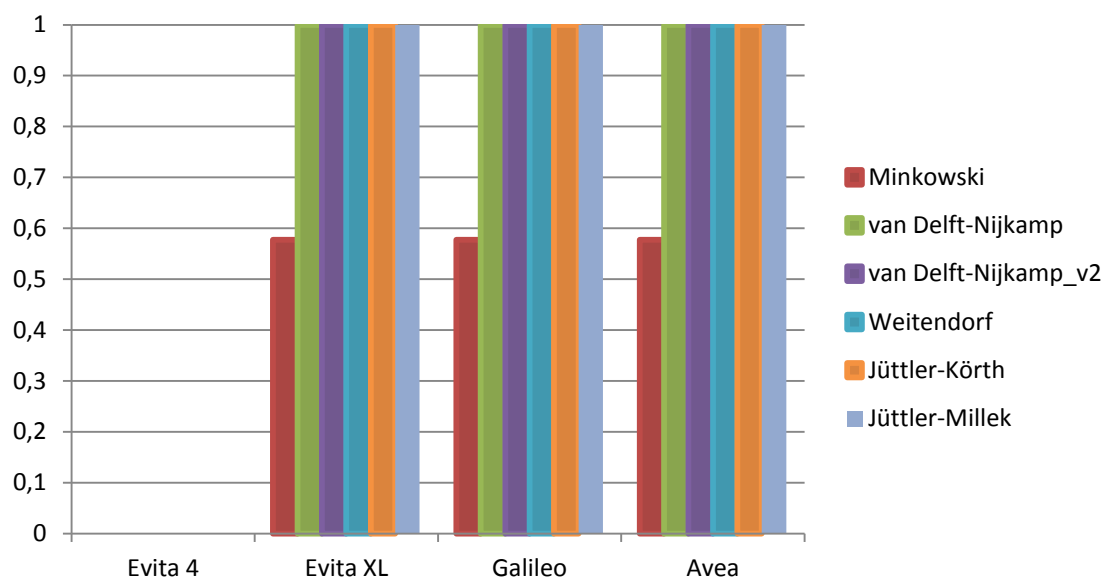
Graf 3.33 Normalizace kritéria č. 4



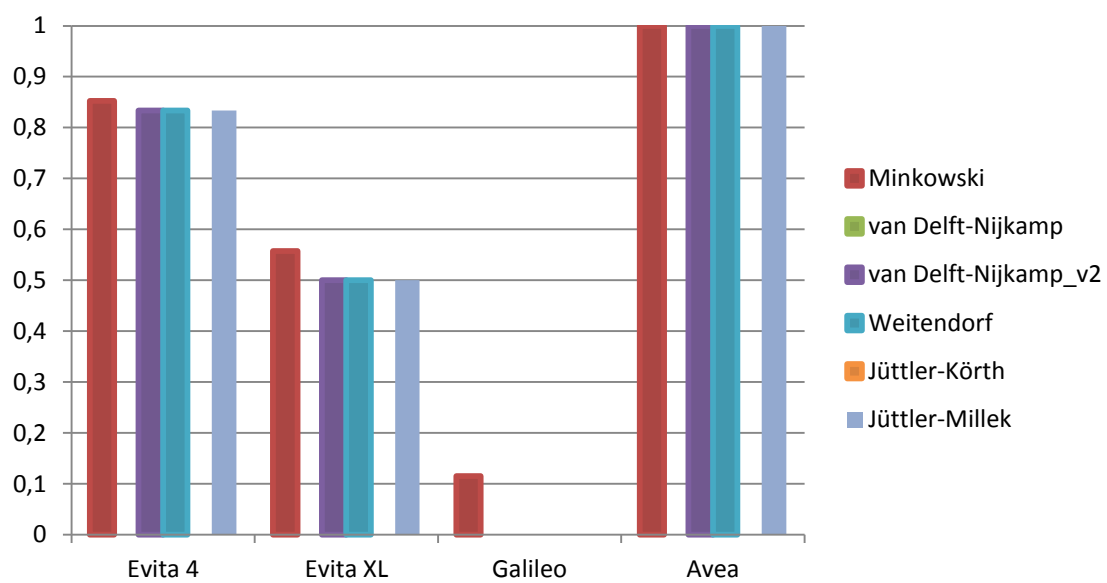
Graf 3.34 Normalizace kritéria č. 5



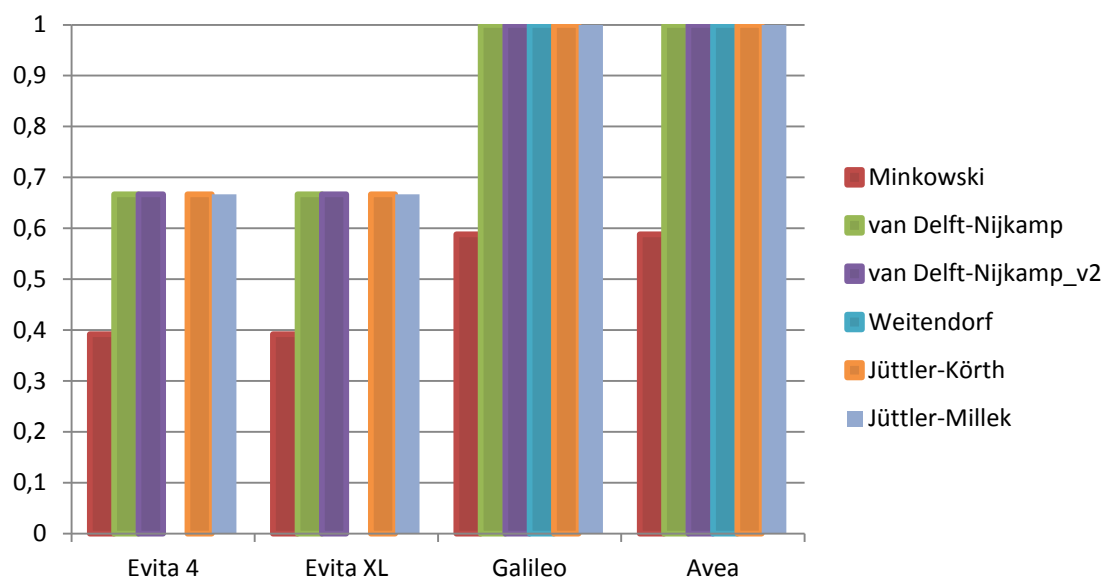
Graf 3.35 Normalizace kritéria č. 5 (bez záporných hodnot metody Jüttlet-Körth)



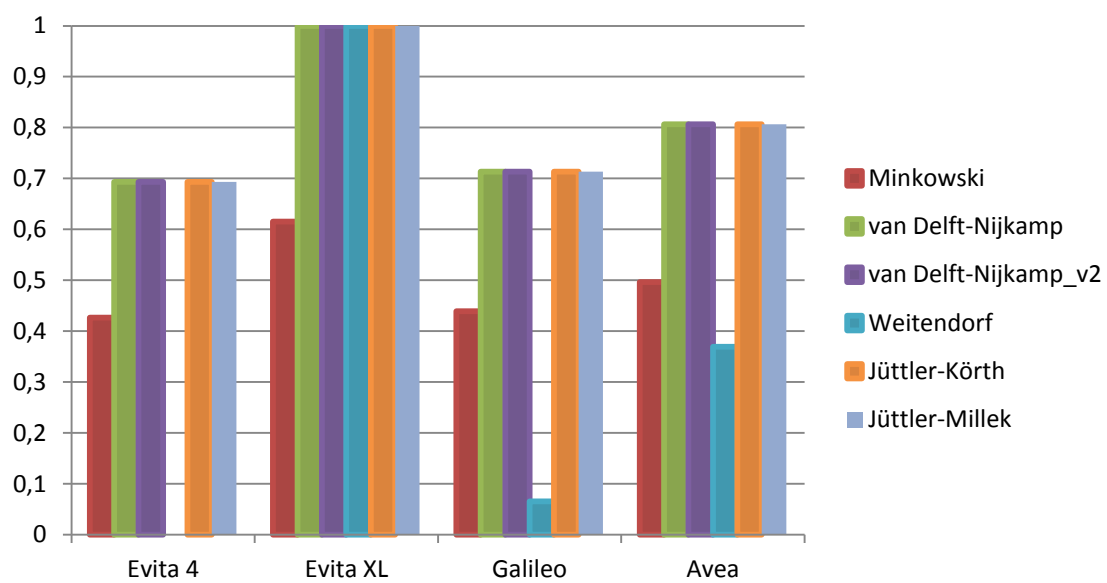
Graf 3.36 Normalizace kritéria č. 6



Graf 3.37 Normalizace kritéria č. 7



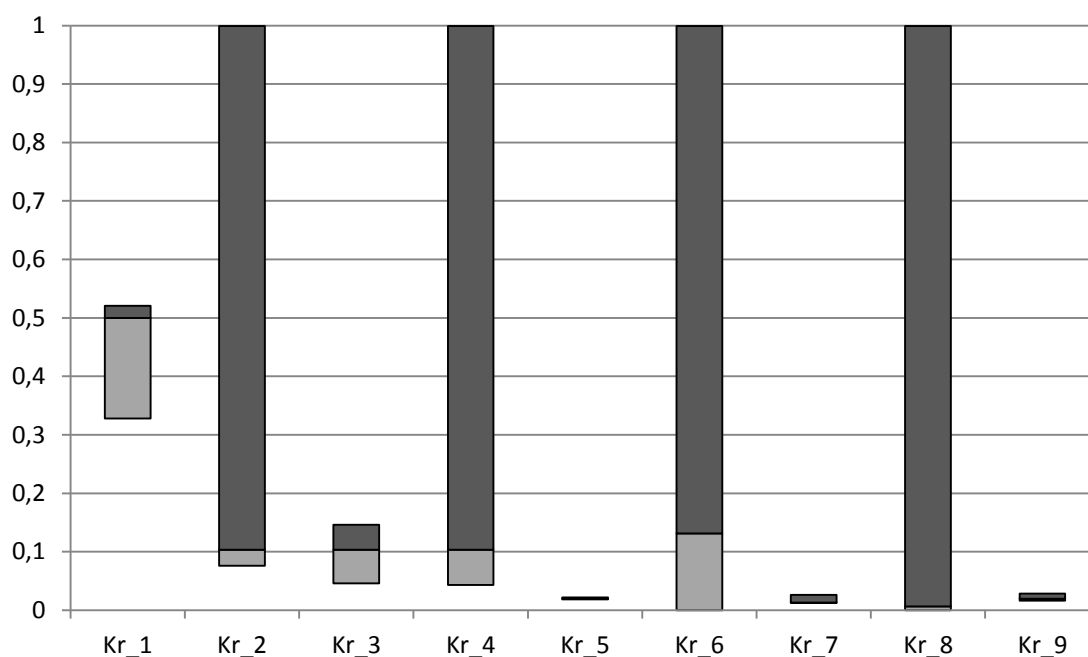
Graf 3.38 Normalizace kritéria č. 8



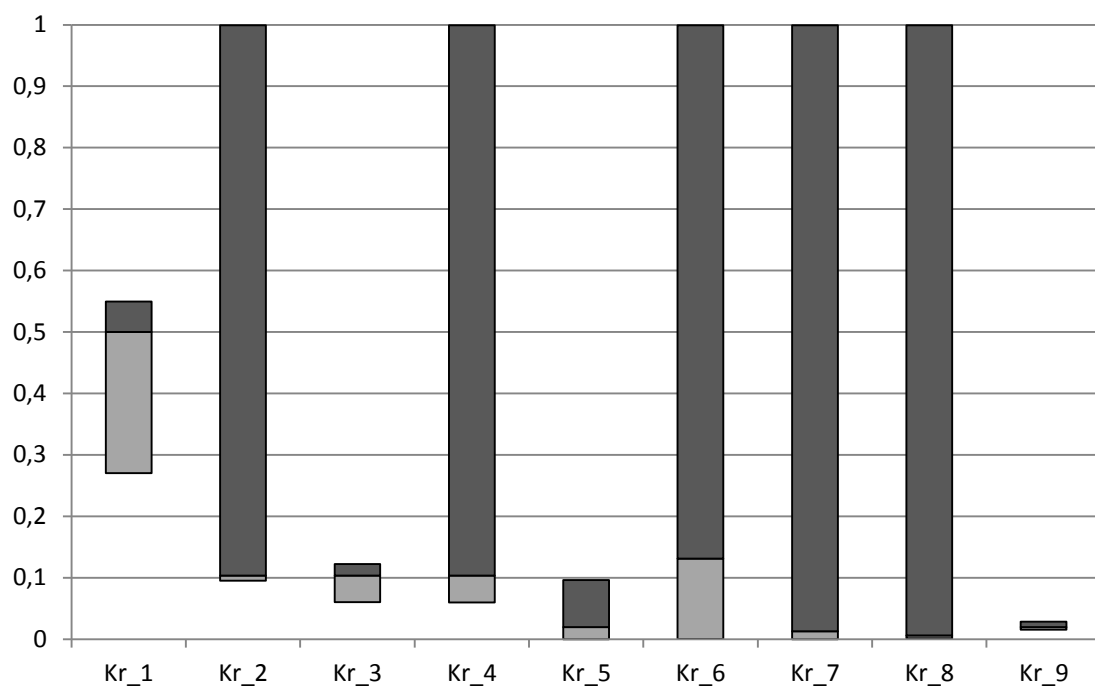
Graf 3.39 Normalizace kritéria č. 9

3.2.11 Váhová citlivostní analýza TOPSIS

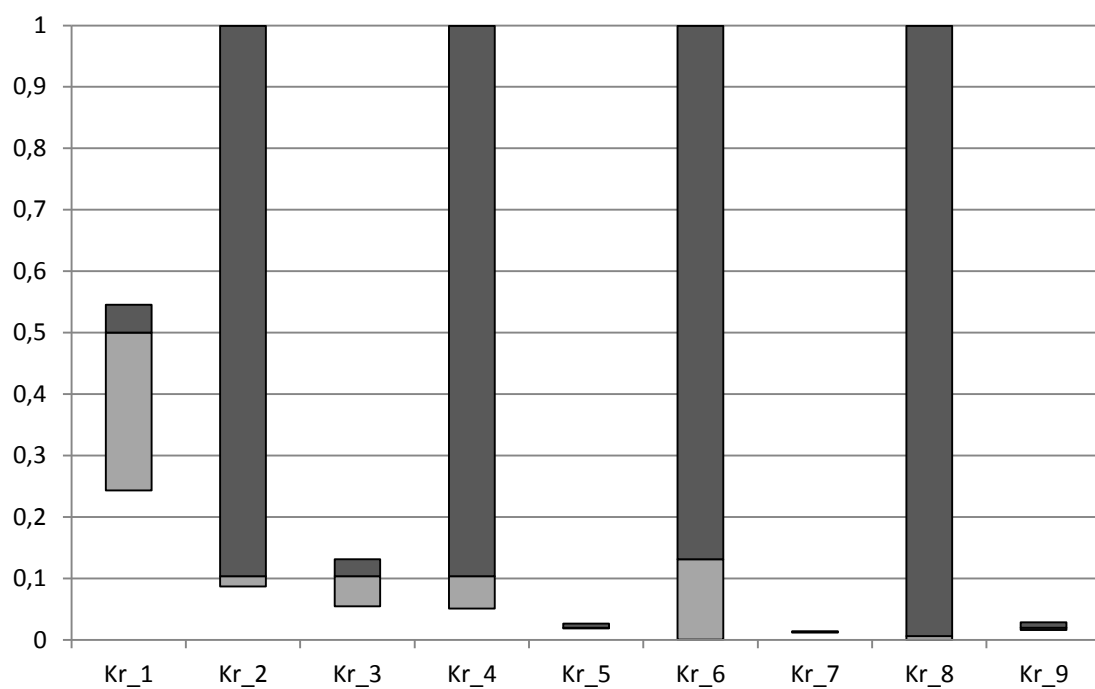
Váhová citlivostní analýza byla aplikována pouze na metodu TOPSIS. Výsledkem jsou toleranční pásma, okolo stanovené váhy, kdy řízenou změnou jedné váhy a dopočtem korekce zbylých vah nedochází ke změně pořadí. Zobrazena jsou pouze toleranční pásma jednotlivých testovaných vah, nikoli dopočítané hodnoty zbylých vah pro každé pásmo. Světlejší barvou je dolní pásmo (dolů od stanovené váhy) a tmavší barvou je horní pásmo (nad stanovené váhy). Tyto informace je možné dopočítat použitím koeficientu dle vzorce (1.37).



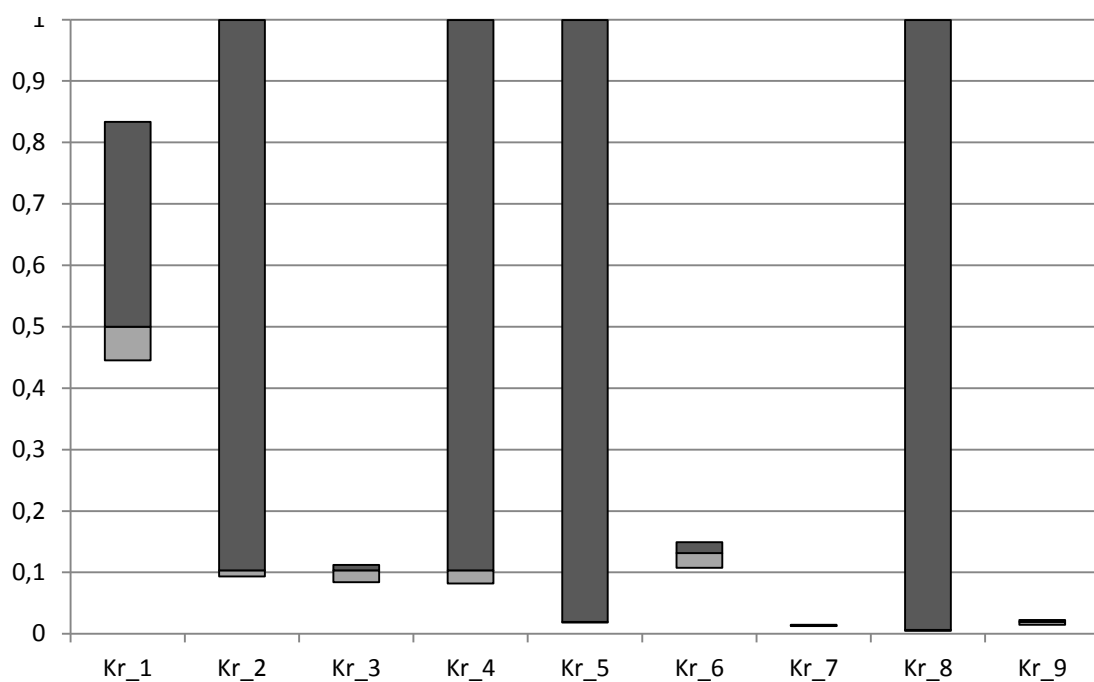
Graf 3.40 Toleranční pásma vah - metoda Minkowski



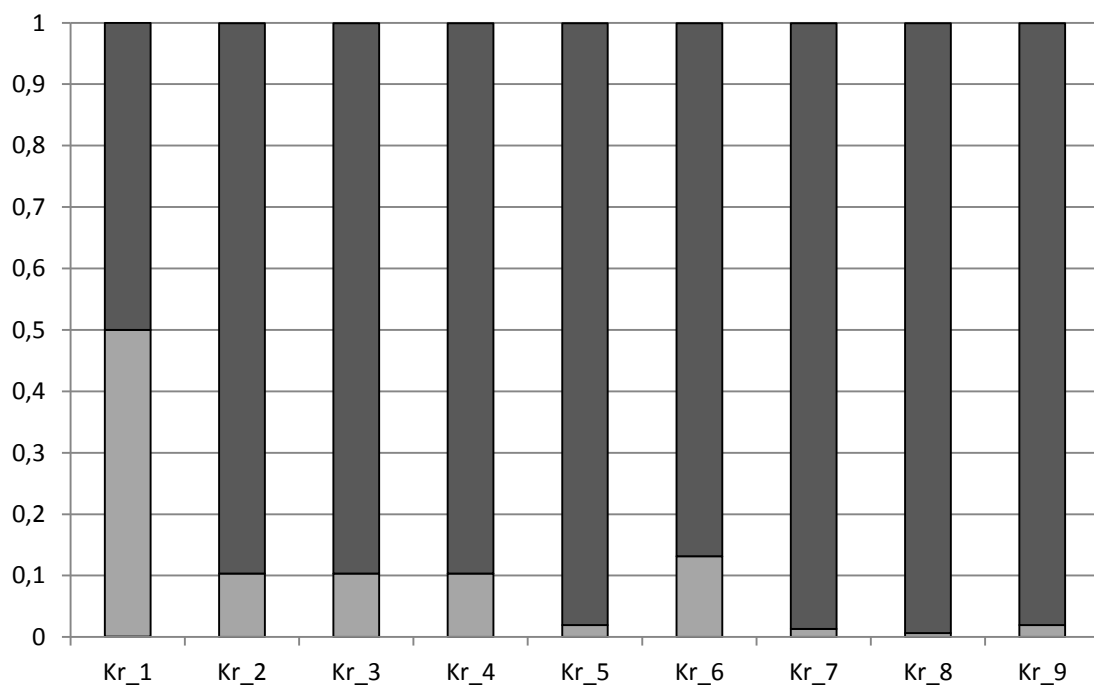
Graf 3.41 Toleranční pásma vah – metoda van Delft-Nijkamp



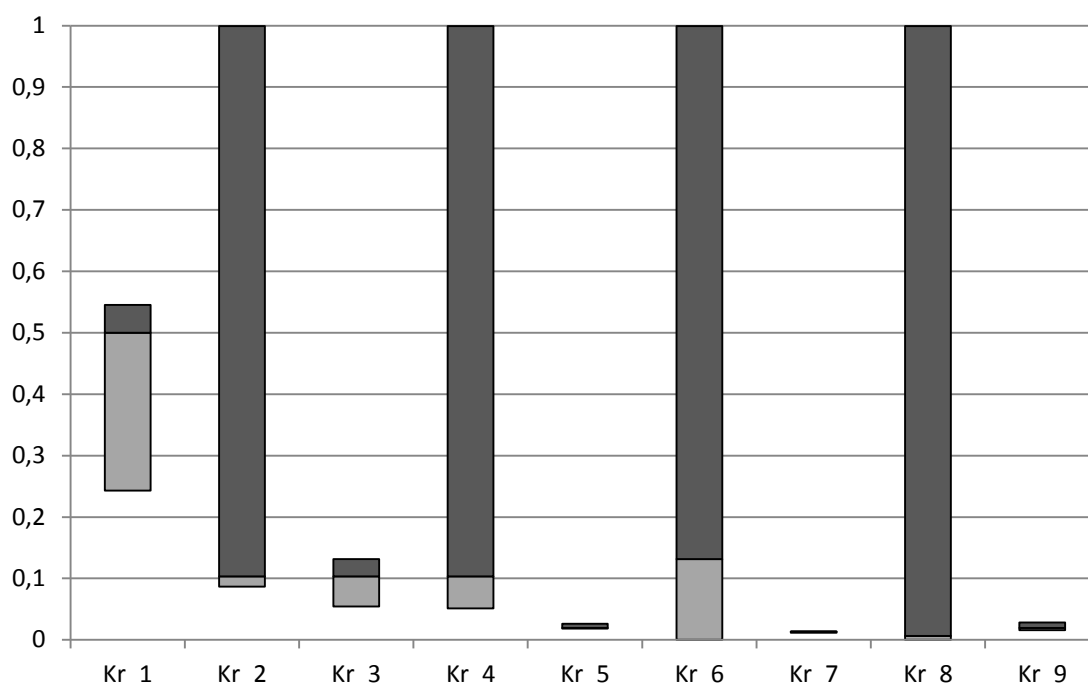
Graf 3.42 Toleranční pásma vah – metoda van Delft-Nijkamp ver 2



Graf 3.43 Toleranční pásma vah – metoda Weitendorf



Graf 3.44 Toleranční pásma vah –metoda Jüttler-Körth

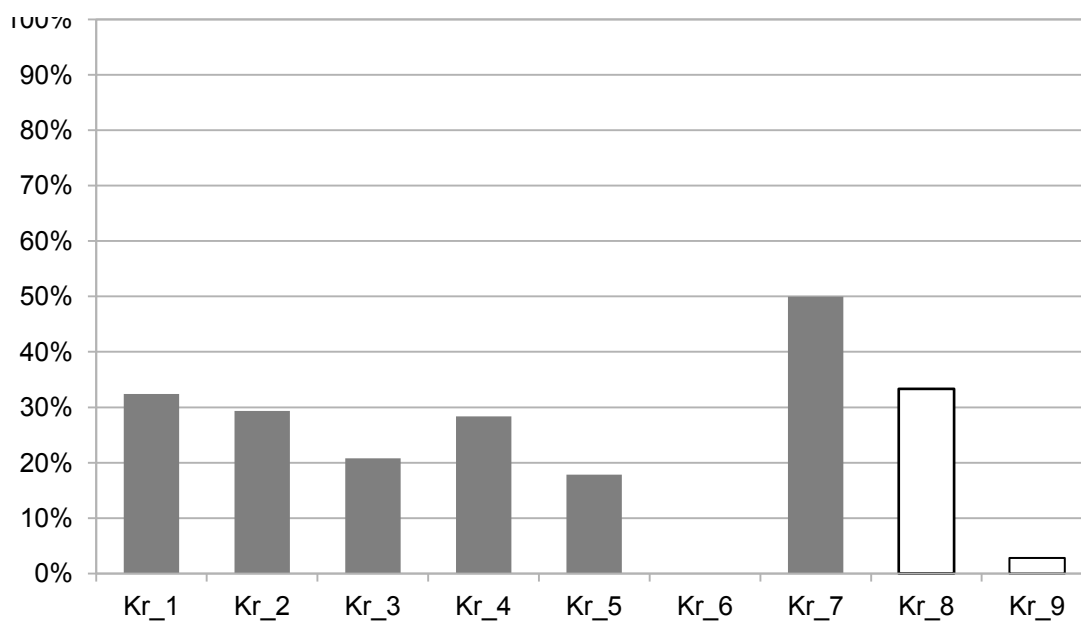


Graf 3.45 Toleranční pásma vah - metoda Jüttler-Millek

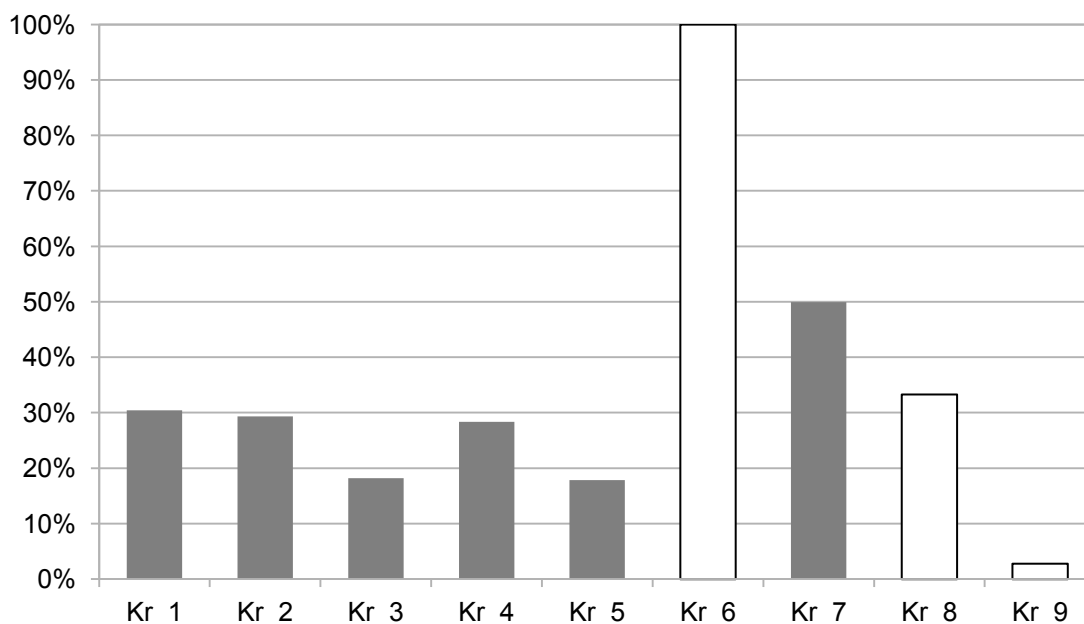
3.2.12 Citlivostní analýza minmax

Analýza vychází z popsaného postupu viz kapitola č. 2.4.2. Maximální hodnota kritéria typu cost byla snižována metodou dělení intervalů k druhé nejvyšší hodnotě, dokud nedošlo ke změně pořadí. Přednastavené váhy byly zachovány v původním nastavení a nejsou u této metody nijak upravovány. Graf vždy ukazuje, o kolik procent je možné upravit maximální/minimální hodnotu (podle typu hodnot kritéria) z původní hodnoty. Tmavou barvou jsou označena kritéria typu cost a bíle kritéria benefit.

Pro metodu TOPSIS jsou zobrazeny dva grafy. První graf č. 3.46 je společný pro všechny normalizační metody kromě metody Weitendorf, té je věnován graf č. 3.47. Výsledky jsou jednotné i přes odlišnou použitou normalizační metodu, kromě výsledků metody Weitendorf, kde je výrazně patrný odlišný výsledek u kritéria č. 6, ten se blíží svou hodnotou druhé hodnotě v souboru. Mírně nižší jsou hodnoty tolerancí kritérií č. 1 až 5 viz tabulka 3.A.29.



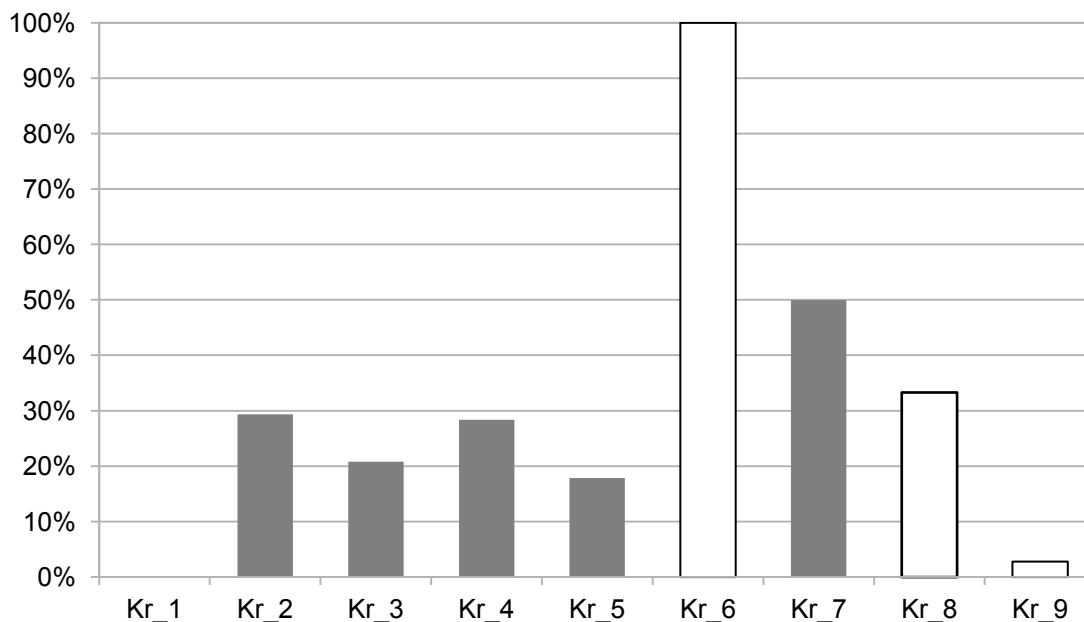
Graf 3.46 Citlivostní analýza minmax pro TOPSIS - výsledek bez metody Weitendorf



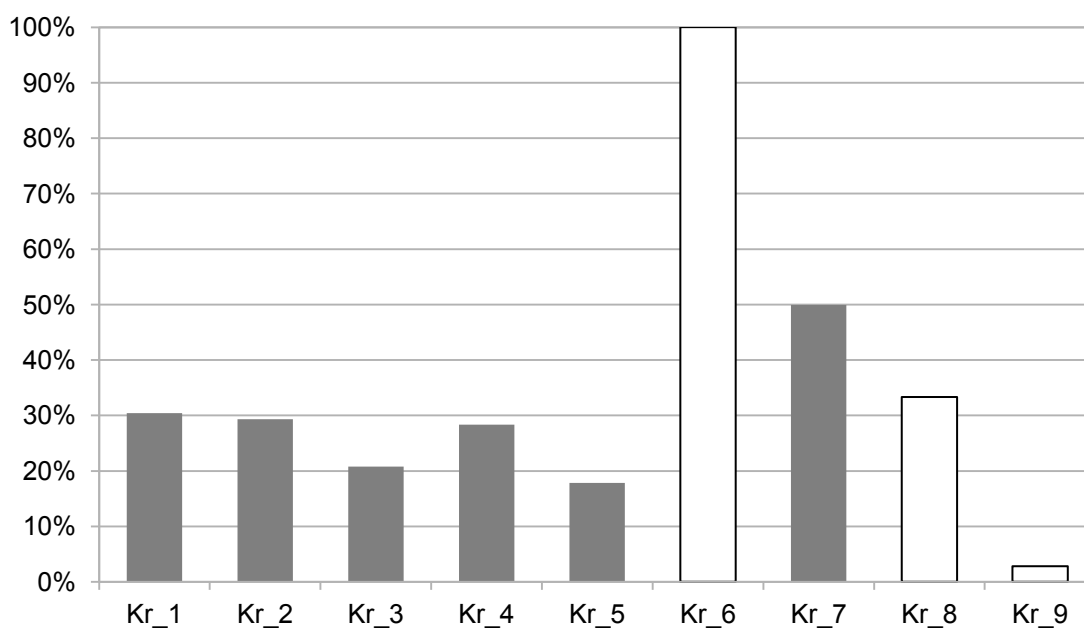
Graf 3.47 Citlivostní analýza minmax pro TOPSIS - výsledek metody Weitendorf

Pro metodu SAW jsou vytvořeny tři grafy 3.48 až 3.50 viz tabulka č. 3.A.30. První zobrazuje toleranční pásma pro manipulaci s maximální nebo minimální hodnotou (podle typu dat) pro všechny normalizační metody kromě metod Weitendorf a Jüttler-

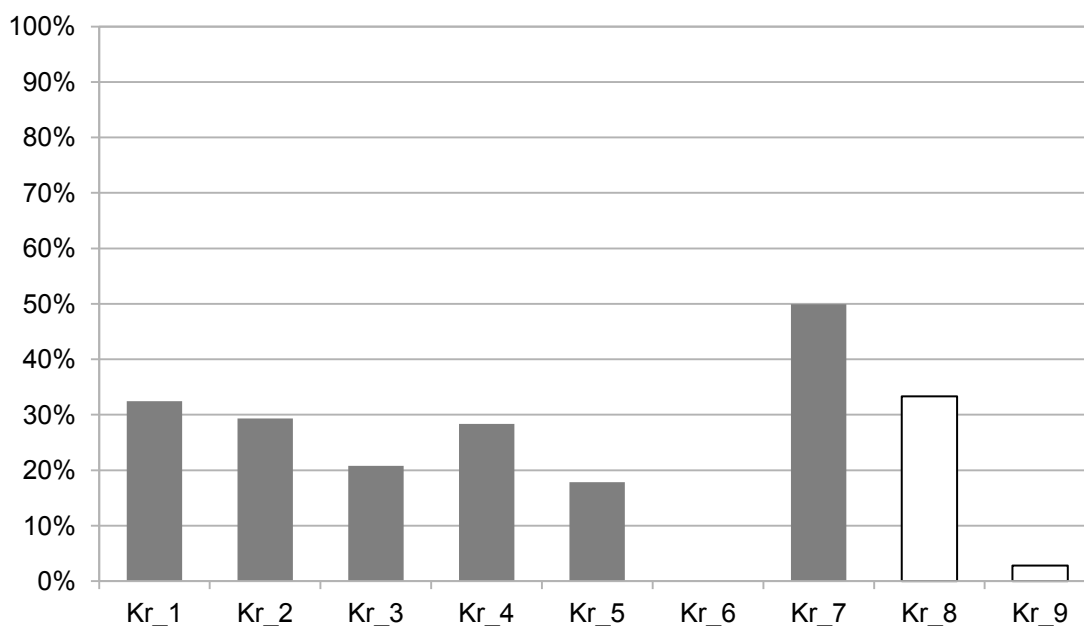
Körth. Zde je vidět absence jakékoli tolerance u kritéria č. 1. Graf č. 3.49 zobrazuje výsledek citlivosti SAW pro metodu Weitendorf, kde je již tolerance kritéria č. 1 patrná. Na posledním grafu metody SAW pro normalizaci metodou Jüttler-Körth je tolerance kritéria č. 1 mírně zdůrazněna a naopak úplně potlačeno kritérium č. 6.



Graf 3.48 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek bez metody Weitendorf a Jüttler-Körth

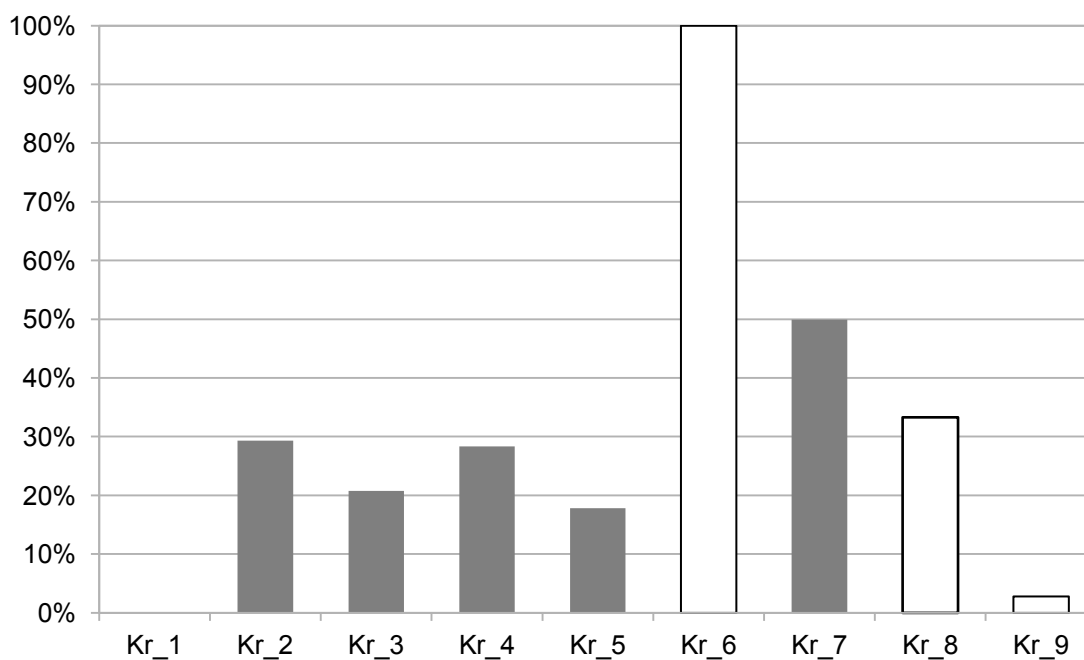


Graf 3.49 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek metody Weitendorf

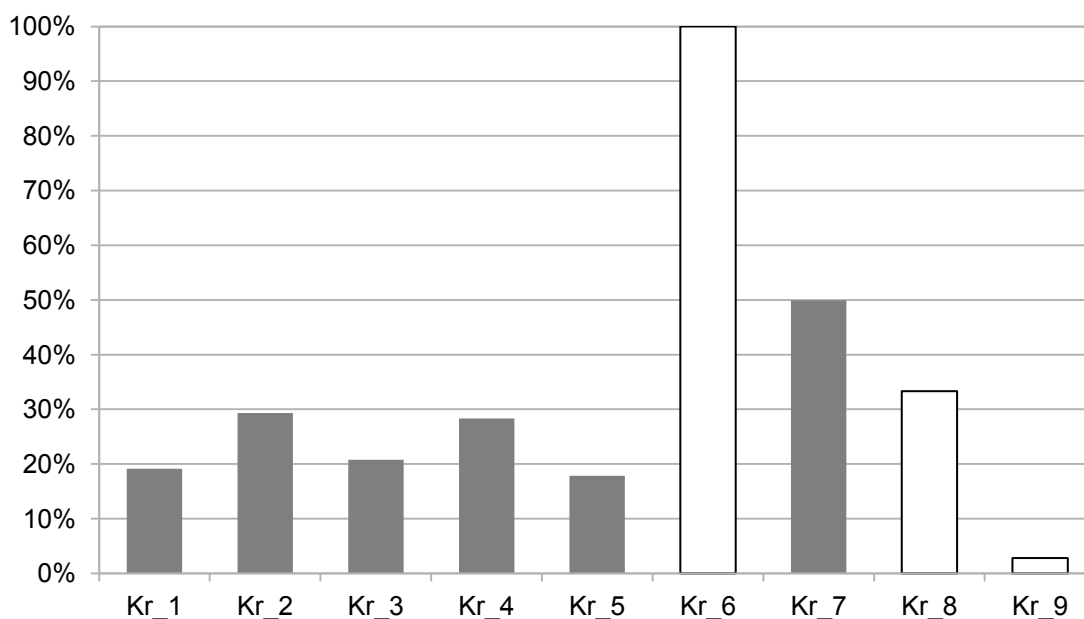


Graf 3.50 Citlivostní analýza minmax pro SAW - výsledek metody Jüttler-Körth

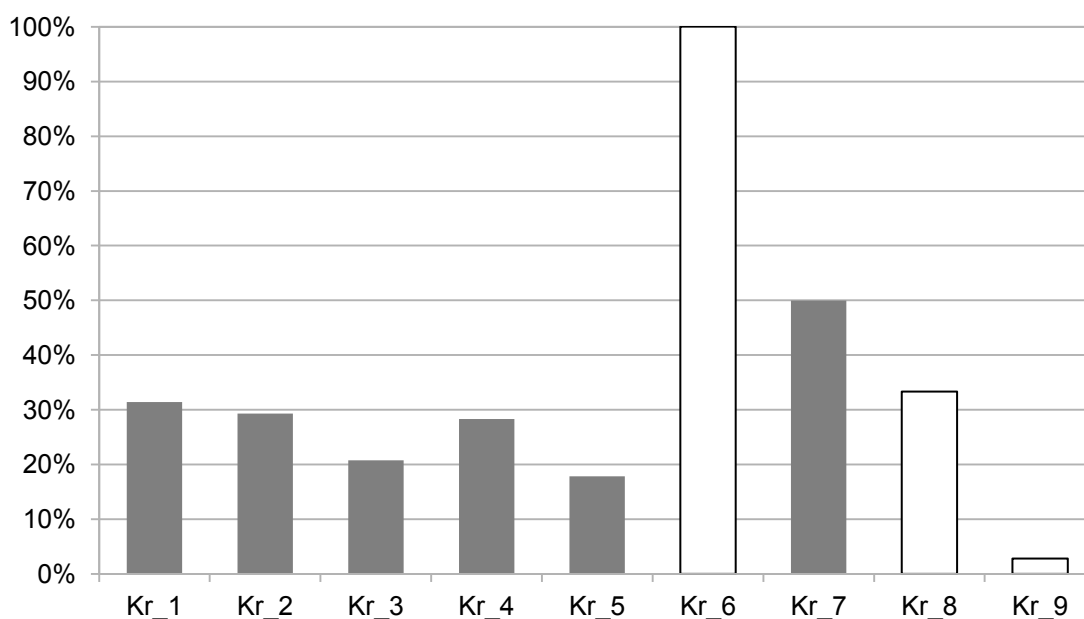
Citlivostní analýza minmax se u metody WPM vychází velmi obdobně, a podobají se výsledkům SAW, pro tři metody (Minkowski, van Delft-Nijkamp a Jüttler-Millek) graf č. 3.51 viz tabulka 3.A.31. Následuje graf pro metodu van Delft-Nijkamp_v2 č. 3.52 a pro metody Witendorf a Jüttler-Körth graf č. 3.53.



Graf 3.51 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek bez metod van Delft-Nijkamp, Weitendorf, Jüttler-Körth



Graf 3.52 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek metody van Delft-Nijkamp_v2



Graf 3.53 Citlivostní analýza minmax pro WPM - výsledek metod Weitendorf a Jüttler-Körth

3.2.13 Statistická analýza

Výstup experimentální statistické funkce je v tabulce 3.A.32. Přínos této metody lze očekávat spíše pro větší soubory HTA. Základním předpokladem je normální rozložení hodnot kritérií.

4 Diskuse

4.1 Normalizační metody

Studiem normalizačních metod byla odhalena omezení některých metod. Proto byly hledány další nebo navrženy varianty původních, které byly rovněž implementovány do *f_mcd*a nástroje. Variantně je řešena metoda van Delft-Nijkamp, kde varianta *ver_2* eliminuje problém s přítomností nulové hodnoty v souboru benefit kritéria (Hwang a Yoon 1981). A vlastní úpravou metody Jüttler-Körth byl ošetřen problém části Körth, který způsoboval větší rozsah souboru hodnot kritéria typu *cost* než je minimální hodnota z takového souboru. Navrženou úpravou bylo dosaženo vyrovnaného výsledku normalizace jak pro data typu benefit tak i *cost*. Porovnávány jsou normalizační metody jak na testovacích souborech X1-X7, které měly za úkol otestovat vybraná omezení normalizačních metod. Prvních šest rozsahů vychází z publikovaného návodu (Zavadskas a Turskis 2008) s drobnou úpravou rozsahu X6, kde byla doplněna hodnota nula a poslední sada X7, která testuje normalizace hodnot v extrémně malém rozsahu čísel 10^{-6} . Některé z testovaných metod se vzájemně výrazně liší svými výsledky na stejné sadě hodnot, a to podle přístupu zda se jedná o čísla typu *cost* nebo benefit.

Chování normalizačních metod na testovacích souborech X1-X7 potvrdilo předpoklady vzešlé z analýzy. Proto nebyly normalizační metody Peldschus a NewLog vůbec zařazeny do nástroje *f_mcd*a, který je určen pro HTA data. Zůstaly tam metody standardně používané a jedna upravená.

Vektorová normalizační metoda, typická pro TOPSIS, normalizuje vstupní hodnoty odlišně pro data typu benefit a *cost*. Dosažení normalizované hodnoty jedna a nula nabývá jen ve speciálním případě: pokud soubor obsahuje pouze hodnoty nula a jedna. V ostatních případech se většinou normalizované hodnoty dat typu benefit pohybují v intervalu (0;0,5) a pro data typu *cost* v intervalu (0,5;1). Ale lze najít paradox, kdy pro stejný soubor hodnot má výsledek nejlepší vstupní hodnoty typu benefit nižší normalizovanou hodnotu než výsledek nejhorší vstupní hodnoty typu *cost*. To platí například u sady X1, na které byl tento paradox zjištěn. Toto bylo zjištěno na konci práce při opakovaném studiu a porovnávání shody mých výsledků s grafem č. 3 v práci (Peldschus 2009). Dále bylo zjištěno u sady dat X5, že poměr stejné normalizované hodnoty, ale rozdílného typu, může být i šest řádů.

U metody van Delft-Nijkamp normalizované hodnoty vycházejí od hodnoty jedna směrem k nule (od nejlepší hodnoty k nejhorší). Tato metoda má však zásadní vadu v neschopnosti se vyrovnat s nulovou hodnotou jako minimální hodnotou v souboru dat, protože v takovém případě vychází nepřijatelné dělení nulou. Přesto byla pro její časté použití v MCDA v kolekci metod ponechána.

Alternativa metody van Delft-Nijkamp ver_2 se chová jinak pro data typu benefit a jinak pro cost. Srovnají-li se vstupní hodnoty sestupně podle velikosti, pak hodnoty typu benefit mají vždy počátek v hodnotě jedna, a naopak hodnoty typu cost mají konec vždy v nule.

Pro metodu Weitendorf platí, že normalizuje vždy lineárně na celý rozsah [0;1]. Její výsledky jsou stabilní, ale normalizací dojde k odstranění poměrového uspořádání vstupních hodnot a hodnoty jsou vztaženy vůči rozsahu hodnot v souboru normalizovaného kritéria. Přestože tato metoda linearizuje vstupní hodnoty a vytváří poměr závislý výstupních hodnot na rozsahu souboru hodnot, je tato metoda aplikována i samotnými autory metody TOPSIS v jejím novelizovaném provedení.

Normalizační metoda Jüttler-Körth má dva problémy a oba se vztahují k části Körth. První problém spočívá v dělení nulou, když soubor dat obsahuje minimální hodnotu rovnou nule a druhý vzniká, je-li rozdíl maximální a minimální hodnoty v souboru dat větší než je samotná minimální hodnota v souboru. V takovém případě vycházejí z normalizace čísla menší než nula.

Alternativou k metodě Jüttler-Körth vznikl vlastní návrh úpravy, který normalizuje obdobně jako metoda van Delft-Nijkamp, ale nemá problém s nulovou hodnotou v souboru dat. Úprava metody spočívá v zachování části Jüttler a část Körth je nahrazena vlastním řešením, proto byla přejmenována na Jüttler-Millek. Výsledkem je naprosto symetrická normalizace dat jak pro typ benefit tak i pro cost. Dále je zachována proporcionalita všech hodnot vůči nejlepší hodnotě v souboru. Nejlepší hodnota je vždy rovna jedné a ostatní klesají směrem k nule.

Druhé testování normalizačních metod proběhlo na reálném souboru HTA dat viz tabulka č. 3.2. Na grafech č. 3.24 až 3.29 jsou výsledky z každé normalizační metody seřazeny v každém kritériu od největší výsledné hodnoty po nejmenší. Je vidět odlišný počátek maximální hodnoty, jiná strmost a průběh normalizace a i jiná výsledná minimální hodnota.

4.2 Multikriteriální metody

Výsledky testovaných multikriteriálních metod jsou vesměs shodné, liší se jen v případech normalizační metody Weitendorf, která je zejména vhodná pro ordinální data (při demonstraci nástroje jsou všechna HTA data kardinálního typu) a pak v případech, kdy normalizační metody nezvládají správně transformovat vstupní data a poskytují multikriteriálním metodám nesprávná nebo nevyhovující data. Pro metodu WPM jsou nevyhovující data taková, která způsobují nulovou hodnotu v kritériální matici.

Při analýze výsledných pořadí, která na zkoumaném vzorku HTA vycházejí shodně (mimo výše zmiňované výjimky), je dobré se také zaměřit na hodnoty, ze kterých je pořadí odvozeno. Protože pořadí jsou už jen ordinální čísla, kdežto zdrojové hodnoty

pro pořadí jsou kardinální hodnoty, které se mnohdy liší v řádech jednotek desetin či setin. Zde je potřeba se zamyslet nad tolerančním pásmem pro vyhodnocení pořadí, jako je tomu u metody VIKOR (Duckstein a Opricovic 1980; Opricovic a Tzeng 2004, 2007, Opricovic 2009, 2011). Kde se počítá jako minimální akceptovatelná odchylka vítězné alternativy od druhé v pořadí QD . Tento přístup se jeví jako racionální, i když bych se přikláněl spíše k aplikaci koeficientu QD na maximum zdrojové hodnoty pro pořadí a teprve tuto odchylku použil jako rozdílové kritérium pro potvrzení nejlepší alternativy. Jinak je nutné hovořit o stavu, kdy je více než jedna alternativa prakticky rovnocenná a je potřeba je takto interpretovat. U dalších zkoumaných MCDA metod tento test nebyl nalezen. Pokud by byl použit požadavek pro požadovaný odstup mezi nejlepším a druhým nejlepším stanovený jako $1/(n-1)$ pro n rovno počtu alternativ, pak není možné konstatovat jednoznačného vítěze ze sledovaného vzorku, neboť odstup první a druhé vítězné varianty (Avea a Galileo) nepřesahuje požadovanou $1/3$. Nejdříve byly výsledné hodnoty normalizovány a následně porovnávány. Nejvíce tento požadavek plní výsledky u metody WPM, kdy alternativa druhá v pořadí dosahuje intervalu $[0,669;0,701]$, naopak u metody SAW jsou odstupy první a druhé varianty nejtěsnější, druhá varianta nabývá hodnot $[0,877;0,939]$ a do stanovené tolerance se vejdou i dvě třetí místa. A o něco blíže k výsledkům WPM jsou odstupy výsledků metody TOPSIS, druhá alternativa v pořadí nabývá hodnot $[0,765;0,827]$. Pokud by byl požadavek na odstup první a druhé alternativy byl minimálně hodnota $1/n$ pro n rovno počtu alternativ, pak by vyhovovaly výsledky metody WPM. Metody TOPSIS a ani SAW by neplnily ani upravený požadavek na hodnotu $1/(n+1)$ pro n rovno počtu alternativ, neboť odstup prvních dvou alternativ je z tohoto pohledu stále velmi těsný. Problematika konečného vyhodnocování pořadí je tedy velmi komplikovaná a zaslouží si jistě další studium.

Je velmi sporné využívat metody MCDA, pokud existuje některé kritérium, které má váhu větší než je hodnota 0,5, respektive existují-li dvě příbuzná kritéria s váhami, které ve svém součtu dají takovou hodnotu. Protože pak stačí zjistit, jestli jsou v daném kritériu stejné hodnoty (například tomu bývá u kritéria pořizovací cena). Pokud nejsou, je prakticky zbytečné zabývat se výpočtem složitých metod MCDA a je výrazně jednodušší jen porovnat hodnoty kritéria s nejvyšší vahou, je-li váha větší než 0,5 nebo použít metodu SAW pro dvě nejvyšší příbuzná kritéria, která dají v součtu hodnotu vah větší než 0,5.

Do funkce f_mcda není integrován způsob vyhodnocování alternativ pomocí dílčích hodnotitelů. Lze však tento postup aplikovat jako součin výstupu z funkce (ne pořadí) od každého hodnotitele, tzn. součin výsledku jednotlivých alternativ od každého hodnotitele. Podobný postup byl navržen pro metodu TOPSIS (Shih et al. 2007), kde se násobily hodnoty pis a nis alternativ jednotlivých hodnotitelů nikoli výsledné hodnoty CI . Tato situace by mohla být aplikována jako způsob hodnocení v HTA, neboť do procesu vstupují různé zájmové skupiny (management nemocnice, lékaři, sestry,

biomedicínské technici/inženýři, eventuálně zřizovatel, zdravotní pojišťovna, přístrojová komise a další).

4.3 Citlivostní analýzy

Použité citlivostní metody jsou založeny na manipulaci s jedním parametrem a sledování výsledku multikriteriální metody. V této práci jsou použity dvě citlivostní metody.

V citlivostní váhové metodě byl použit upravený přístup, který výrazně zjednodušuje výpočet již dříve navržený (Alinezhad a Amini 2011). Je zajímavé, jak se mění citlivost metody TOPSIS na nastavení vah s ohledem na vstupní hodnoty. Zde je potřeba sledovat, zda nejsou některé toleranční intervaly příliš úzké nebo jednostranně zúžené. To signalizuje potenciální riziko možného jiného pořadí, při malé odchylce původního nastavení váhy kritéria.

Z hodnocení je potřeba vyřadit výsledek normalizační metody Jüttler-Körth, která podává na testovaném souboru HTA špatné výsledky. Na druhou stranu váhová citlivostní analýza vyšla úplně stejně u metod van Delft-Nijkamp_v2 a Jüttler-Millek (s přesností na čtyři desetinná místa) a odchylka metody Minkowski od dvou předešlých je $\pm 0,01$ u všech kritérií, kromě prvního, kde je dolní i horní mez více uzavřená tj. blíže ke stanovené váze. Zbylé dvě metody se odlišují následovně: van Delft-Nijkamp se pohybuje v odchylkách od prvních dvou metod v řádech setin, kromě prvního kritéria, které je více otevřené a zásadní je odchylka u kritéria č. 7, které právě nevyhovuje svou strukturou hodnot metodě van Delft-Nijkamp; metoda Weitendorf se opět podobá výsledkům prvních dvou metod, ale s větší odchylkou tj $\pm 0,03$ u kritérií 2 až 4 a 7 až 9. Kritérium č. 1 je výrazně jiné, dolní pásmo je velmi úzké a horní naopak velmi otevřené, podobně je tomu u kritéria č. 5, které má dolní mez na obvyklé hodnotě, ale horní mez je omezená až hodnotou jedna a naopak u kritéria č. 6 je toleranční pásmo výrazně malé. Vše je způsobeno odlišným přístupem k normalizaci hodnot.

Za povšimnutí stojí oboustranná netečnost metody TOPSIS (mimo metod Weitendorf a Jüttler-Körth) na váhu kritérií č. 6 a 8 a jednostranná netečnost na horní pásmo u kritérií č. 2 a 4. Naopak existují kritéria č. 3, 5, 7 a 9 s extrémně malým tolerančním pásmem, u kterých už odchylka v řádu tisícín (kritéria č. 5, 7 a 9) nebo jednotek setin (kritérium č. 3) změní celkový výsledek hodnocení.

Citlivostní analýza minmax měla za úkol, ukázat hraniční hodnoty jednotlivých kritérií, které ještě neznamenají změnu výsledků MCDA při manipulaci s maximálními či minimálními hodnotami pro dané kritérium (podle typu cost/benefit). Tato analýza může mít přínos při hledání optimální hladiny pořizovací ceny (nebo jiného cost kritéria), při optimalizaci zisku. Výsledné procento uváděné v tabulkách 3.A.29-31 je hraniční pro zachování nezměněného výsledku MCDA, tudíž hledá-li se hodnota, která

výsledek ovlivní, stačí odečíst hodnotu d_i od hodnoty i -tého kritéria v tabulce rozdíl maximální hodnoty x_i a druhé maximální hodnoty x'_i , podělený stupněm n dělení intervalů (1.45). Obdobně je možné upravovat i minimální hodnotu pro kritéria typu benefit, navýšením hodnoty v tabulce o hodnotu d_i , kdy k hodnotě i -tého kritéria v tabulce přičteme rozdíl minimální hodnoty x_i a druhé minimální hodnoty x'_i , podělený stupněm n dělení intervalů (1.46).

$$d_i = \frac{(\max_i x_i - \max_i x'_i)}{2^n} \quad (1.45)$$

$$d_i = \frac{(\min_i x_i - \min_i x'_i)}{2^n} \quad (1.46)$$

Výsledky jsou zobrazovány v grafech 3.46 až 3.53. U metody TOPSIS nedochází k výrazným odchylkám v závislosti na normalizační metodě, kromě normalizační metody Weitendorf u které je výrazná odlišnost u kritéria č. 6, neboť toto kritérium má v souboru pouze dvě hodnoty $[0;1]$ a špatně se s takovou škálou hodnot pracuje, zejména když se jedná o dvou stavovou veličinu. Toto kritérium je jedním ze dvou kritérií, které se výrazně liší i u dalších metod. Tím druhým je kritérium č. 1 a týká se jen metod SAW a WPM, kde dochází k odlišným výsledkům opět zejména u normalizační metody Weitendorf, která pracuje s rozdílem maximální a minimální hodnoty v souboru hodnot kritéria. U této normalizační metody je také vidět nepatrný posun výsledku o 2,6 % z maximální hodnoty kritéria č. 3 u metody TOPSIS, jinde se rozdíl u tohoto kritéria už nevyskytuje.

Zvláštností kritéria č. 1 je, že pouze u metody TOPSIS se ostatní normalizační metody blížily asymptoticky druhé největší hodnotě u metody SAW se podařilo úpravou maximální hodnoty změnit výsledek hodnocení jen u metod Weitendorf a Jüttler-Körth, a u metody WPM pomocí metod van Delft-Nijkamp_v2, Weitendorf a Jüttler-Körth. U ostatních výsledků citlivostní analýzy min/max se v rámci jednotlivých kritérií (mimo zmiňovaná) nové hodnoty blíží asymptoticky k sousední hodnotě.

Daná problematika vazby MCDA a normalizačních metod si zaslouží jistě další pozornost. Zejména s ohledem na aplikaci v oblasti HTA, kdy nesprávně interpretovaná MCDA metoda může doporučit přístroj/metodu či lék, který by mohl být kvalitativně horší a vyhrál by jen o marginální odchylku díky nižší ceně. Takové rozhodnutí může mít dopad na budoucí rozvoj pracovišť a ekonomiku poskytovatele zdravotních služeb. Je proto velmi důležité se znovu zaměřit na vhodnost MCDA metod a nastavení vah, které je jedním ze zásadních vstupních parametrů, které vstupují do MCDA.

4.4 Statistická analýza

Tento doplněk f_mcd je pouze experimentální a pro soubory s malým počtem alternativ nemá vypovídající hodnotu. Pro takové soubory by bylo dobré metodu

odhadu průměrné hodnoty použít Dean-Dixonův Q-test (Dean a Dixon 1951). Tato metoda nebyla do z časových důvodů implementována, protože nebyla tato metoda nalezena jako hotová funkce v prostředí MATLAB. Je možné tuto metodu v budoucnu integrovat do metody *f_mcd*, ale i s další analýzou, jakou je například informace o počtu prvků souboru, které byly vyřazeny nebo naopak zachovány pro výpočet průměrné hodnoty. Výhodou Dean-Dixonova Q-testu je nezávislost na typu rozložení testovaného souboru. V této práci byl použit předpoklad normálního rozložení všech hodnot.

4.5 Další výzvy

Pro budoucí práce zůstávají další neřešené oblasti. Jedna se týká tvorby vah jednotlivých kritérií (např. metodami Saaty, Fuler apod.) a druhá vytvoření nástroje pro metodu AHP nebo jiné pro párové porovnávání. Obě oblasti by bylo vhodné řešit interaktivním grafickým prostředím. A to i s podporou tvorby vah pomocí metody Delfy. Metoda Delfy však vyžaduje opakovanou interaktivní spolupráci expertního týmu a koordinátora. To by bylo možné vytvořit ve formě webového prostředí jako serverovou aplikaci, kde by funkce moderátora/koordinátora mohla být z části nahrazena automatickým odpovídačem nebo lépe v podobě umělé inteligence.

Je na zvážení zapracování fuzzy technik pro multikriteriální metody v HTA, a využít tak další možnosti navržené datové struktury HTA pro MCDA. Struktura je navržena jak pro intervalové normalizační metody, tak i například pro nonmonotónní normalizaci, která umožňuje sledovat okolí stanovené hodnoty. V porovnání s triangulárním přístupem nemá tato metoda lineární průběh.

Jak bylo popsáno na konci kapitoly č. 4.2, je velkou výzvou další studium výsledků vycházejících z multikriteriálních metod a hledání vhodné způsobu interpretace výsledku, protože pořadí postavené jen na výstupních hodnotách z těchto metod bez ohledu na odstupy hodnot se nejvíce vyhovující. Funkční přístup má v sobě implementována metoda VIKOR.

Velmi zajímavou oblastí by byla aplikace „swarm intelligence“ metod pro MCDA. Jedná se o metody využívající různé optimalizační přístupy založené na chování mravenčích, včelích, světluščí a jiných rojů/hejn sociálních zvířat.

Cílem použití multikriteriálních metod je podpora procesu HTA. Tyto metody jsou efektivní zejména tam, kde je velké množství kritérií a nejsou přítomna kritéria s příliš vysokými hodnotami vah. Bylo by zajímavé provést analýzu závislosti výsledků MCDA na struktuře hodnot vah (rozsah minimální a maximální hodnoty a střední hodnoty vah v souboru).

5 Závěr

Výsledkem práce je funkční nástroj „*f_mcd*“ pro multikriteriální analýzu souborů HTA dat v prostředí MATLAB. Pro nástroj byla navržena vhodná struktura XLS souboru pro HTA data umožňující jejich snadné zpracování. Datová struktura byla navrhována s výhledem na možnost dalšího využití v budoucnu pro případné rozšíření o fuzzy metody. Nástroj má implementovány tři multikriteriální rozhodovací metody (TOPSIS, SAW a WPM) a šest normalizačních metod (pět standardních a jedna autorská modifikace).

Přínos zpracované analýzy normalizačních metod spočívá v identifikaci problematických míst některých metod (van Delft-Nijkamp, Jüttler-Körth, Peldschus a NewLog) v prostředí HTA. Poslední dvě zmiňované metody byly na základě analýzy vyřazeny z kompletu normalizačních metod a první dvě metody byly ponechány i přes jejich nevýhody, aby lépe ukázaly nebezpečí jejich použití v HTA. Navržená autorská úprava metody Jüttler-Körth je funkční a eliminuje chyby původní podoby metody pro soubory dat používaných v HTA. Studium normalizačních metod mě přivedlo k zahraniční spolupráci se studenty z univerzity UNINOVA (Institute for the Development of New Technologies, Caparica, Portugal), kteří se zabývají problematikou normalizačních metod.

Nástroj byl dále vybaven dvěma citlivostními analýzami. Je nutné upozornit, že citlivostní analýza je vztažena vždy ke konkrétnímu sledovanému souboru dat. Vytvořená váhová citlivostní analýza pro metodu TOPSIS s vlastním navrženým postupem, umožní identifikovat váhy kritérií, jejichž odchylka od stanovené hodnoty by mohla způsobit změnu výsledného hodnocení. Citlivostní metoda minmax ukazuje vliv změny okrajové hodnoty kritéria k sousední hodnotě, maximální hodnoty typu cost a minimální hodnoty dat typu benefit, na výsledek pořadí alternativ. Lze tak identifikovat potenciál pro změnu nebo tlak na změnu některých hodnot pro ovlivnění výsledku, je-li to možné nebo žádoucí.

Realizovaná funkce *f_mcd* byla otestována na souboru HTA dat a všechny výsledky jsou prezentovány v kapitole Výsledky a komentovány v kapitole Diskuze.

Zkoumané téma je velmi zajímavé a domnívám se, že výsledek bude užitečný pro zpracování, zejména větších souborů HTA dat. Rozbor výsledků poukazuje na některé nejistoty podpory rozhodovacího procesu pomocí výsledků MCDA, které mohou být způsobeny jak zvoleným matematickým aparátem nebo zpracování podkladů pro multikriteriální rozhodovací proces, tak i vlastní interpretací výsledků z nástroje všešlých. Významným problémem je tvorba pořadí na základě pouhého seřazení výsledků podle velikosti bez ohledu na odstupy mezi výsledky. Tento problém je

identifikován (Duckstein a Opricovic 1980; Opricovic a Tzeng 2007), ale řeší jej pouze metoda VIKOR. Jistě by bylo zajímavé studovat závislost výsledku MCDA na struktuře vah. Jiné další možné směry rozvoje MCDA včetně komplexnějšího automatizovaného zpracování jsou popsány v kapitole 4.5.

Seznam použité literatury

ALINEZHAD, A, K SARRAFHA a A AMINI, 2014. Sensitivity Analysis of SAW Technique: the Impact of Changing the Decision Making Matrix Elements on the Final Ranking of Alternatives. *Iranian Journal of Operations Research*. roč. 5, č. 1, s. 82–94.

ALINEZHAD, Alireza a Abbas AMINI, 2011. Sensitivity Analysis of TOPSIS Technique : The Results of Change in the Weight of One Attribute on the Final Ranking of Alternatives. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*. roč. 7, s. 23–28.

ASHTIANI, Behzad, Farzad HAGHIGHIRAD, Ahmad MAKUI a Golam ali MONTAZER, 2009. Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets. *Applied Soft Computing Journal* [online]. roč. 9, č. 2, s. 457–461. ISSN 15684946. Dostupné z: doi:10.1016/j.asoc.2008.05.005

BRAUERS, Willem Karel M., Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS, Friedel PELDSCHUS a Zenonas TURSKIS, 2008. Multi- objective decision- making for road design. *Transport* [online]. roč. 23, č. 3, s. 183–193. ISSN 1648-4142. Dostupné z: doi:10.3846/1648-4142.2008.23.183-193

ÇELEN, Aydın, 2014. Comparative analysis of normalization procedures in TOPSIS method: with an application to Turkish deposit banking market. *Informatica* [online]. roč. 25, č. 2, s. 185–208. ISSN 08684952. Dostupné z: doi:10.15388/Informatica.2014.10

DEAN, R. B. a W. J. DIXON, 1951. Simplified Statistics for Small Numbers of Observations. *Analytical Chemistry* [online]. roč. 23, č. 4, s. 636–638. ISSN 0003-2700. Dostupné z: doi:10.1021/ac60052a025

DUCKSTEIN, Lucien a Serafim OPRICOVIC, 1980. Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resources Research* [online]. 2., roč. 16, č. 1, s. 14–20. ISSN 00431397. Dostupné z: doi:10.1029/WR016i001p00014

EUROPEAN NETWORK FOR HEALTH TECHNOLOGY ASSESSMENT |, 2015. *Methods for health economic evaluations - A guideline based on current practices in Europe Final* [online]. B.m.: EUnetHTA. Dostupné z: http://www.eunethta.eu/sites/5026.fedimbo.belgium.be/files/news-attachments/2015-04-29-eco-gl_final_version.pdf

FISHBURN, Peter C., 1967. Additive Utilities With Incomplete Product Sets: Application To Priorities and Assignments. *Operations Research* [online]. roč. 15, č. 3, s. 537–542. ISSN 0732183X. Dostupné z: doi:10.1287/opre.15.3.537

FRIEBELOVA, Jana, 2008. *Vícekriteriální rozhodování za jistoty* [online]. 2008. České Budějovice: University of South Bohemia (Faculty of Economics). Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>

HWANG, Ching-Lai a Kwangsun YOON, 1981. *Multiple Attribute Decision Making* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. ISBN 978-3-540-10558-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-48318-9

CHAKRABORTY, Subrata, 2007. A Simulation Based Comparative Study of Normalization Procedures in Multiattribute Decision Making. *Wseas*. roč. Proceeding, s. 102–109.

CHATTERJEE, Prasenji a Shankar CHAKRABORTY, 2014. Investigating the Effect of Normalization Norms in Flexible Manufacturing Sytem Se- lection Using Multi-Criteria Decision-Making Methods. *JOURNAL OF Engineering Science and Technology Review* [online]. roč. 7, č. 3, s. 141–150. Dostupné z: <http://www.jestr.org/downloads/Volume7Issue3/fulltext247314.pdf>

KABIR, Golam a M Ahsan Akhtar HASIN, 2012. Comparative analysis of TOPSIS and Fuzzy TOPSIS for the evaluation of travel website service quality. *International Journal for Quality Research*. roč. 6, č. 3, s. 169–185.

LAI, Young-Jou a Ching-Lai HWANG, 1994. *Fuzzy Multiple Objective Decision Making* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. ISBN 978-3-540-57595-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-57949-3

MILLER, D.W. a M.K. STARR, 1973. *Executive Decisions And Operations Research / Second Edition*. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.

OPRICOVIC, Serafim, 2009. A Compromise Solution in Water Resources Planning. *Water Resour Manage* [online]. roč. 23, s. 1549–1561. Dostupné z: doi:10.1007/s11269-008-9340-y

OPRICOVIC, Serafim, 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, roč. 38, č. 10, s. 12983–12990. ISSN 09574174. Dostupné z: doi:10.1016/j.eswa.2011.04.097

OPRICOVIC, Serafim a Gwo Hshiung TZENG, 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* [online]. roč. 156, č. 2, s. 445–455. ISSN 03772217. Dostupné z: doi:10.1016/S0377-2217(03)00020-1

OPRICOVIC, Serafim a Gwo Hshiung TZENG, 2007. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research* [online]. roč. 178, č. 2, s. 514–529. ISSN 03772217. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejor.2006.01.020

PELDSCHUS, Friedel, 2009. The Analysis of the Quality of the Results Obtained with the Methods of Multi-Criteria Decisions. *Technological and Economic Development* [online]. roč. 15, č. 4, s. 580–592. ISSN 1392-8619. Dostupné z: doi:10.3846/1392-8619.2009.15.580-592

SANTOS, Fábio J J a Heloisa a CAMARGO, 2010. Fuzzy Systems for Multicriteria Decision Making. *CLEI Electronic Journal*,. roč. 13, č. 3, s. 2–9.

SHIH, Hsu Shih, Huan Jyh SHYUR a E. Stanley LEE, 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling* [online]. roč. 45, č. 7–8, s. 801–813. ISSN 08957177. Dostupné z: doi:10.1016/j.mcm.2006.03.023

THOKALA, Praveen, Nancy DEVLIN, Kevin MARSH, Rob BALTUSSEN, Meindert BOYSEN, Zoltan KALO, Thomas LONGRENN, Filip MUSSEN, Stuart PEACOCK, John WATKINS a Maarten IJZERMAN, 2016. Multiple criteria decision analysis for health care decision making - An introduction: Report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health* [online]. B.m.: Elsevier, roč. 19, č. 1, s. 1–13. ISSN 15244733. Dostupné z: doi:10.1016/j.jval.2015.12.003

THOKALA, Praveen a Alejandra DUENAS, 2012. Multiple criteria decision analysis for health technology assessment. *Value in Health* [online]. roč. 15, č. 8, s. 1172–1181. ISSN 10983015. Dostupné z: doi:10.1016/j.jval.2012.06.015

TRIANAPHYLLOU, E a B SHU, 1998. Multi-criteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* [online]. roč. 15, s. 175–186. Dostupné z: <http://univ.nazemi.ir/mcdm/Multi-Criteria Decision Making.pdf>

TRIANAPHYLLOU, Evangelos a Alfonso SANCHEZ, 1997. a Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods. *Decision Sciences* [online]. roč. 28, č. 1, s. 151–194. ISSN 00117315. Dostupné z: doi:10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x

VAF AEI, Nazanin, Rita A RIBEIRO a Luis M CAMARINHA-MATOS, 2016.

Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making. In: Shaofeng LIU, Boris DELIBAŠIĆ, Isabelle LINDEN a Festus.O. ODERANTI, ed. *ICDSST 2016 PROCEEDINGS – THE EWG-DSS 2016 INT. CONFERENCE ON DECISION SUPPORT SYSTEM TECHNOLOGY: DECISION SUPPORT SYSTEMS ADDRESSING SUSTAINABILITY & SOCIETAL CHALLENGES*. s. 23–25.

VAFAEI, Nazanin, Rita A RIBEIRO a Luis M. CAMARINHA-MATOS, 2015. Importance of Data Normalization in Decision Making: case study with TOPSIS method. *International Conference of Decision support Systems Technology, An EWG-DSS Conference. Them: Big Data Analytic for Decision Making*. č. May.

VON BERTALANFFY, Ludwig, 1968. General System Theory. *Georg. Braziller New York* [online]. roč. 1, s. 289. Dostupné z: <http://books.google.es/books?id=N6k2mILtPYIC>

ZAMANI-SABZI, Hamed, James Phillip KING, Charlotte C. GARD a Shalamu ABUDU, 2016. Statistical and analytical comparison of multi-criteria decision-making techniques under fuzzy environment. *Operations Research Perspectives* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, roč. 3, č. November, s. 92–117. ISSN 22147160. Dostupné z: doi:10.1016/j.orp.2016.11.001

ZANAKIS, Stelios H., Anthony SOLOMON, Nicole WISHART a Sandipa DUBLISH, 1998. Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research* [online]. roč. 107, č. 3, s. 507–529. ISSN 03772217. Dostupné z: doi:10.1016/S0377-2217(97)00147-1

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras a Zenonas TURSKIS, 2008. A New Logarithmic Normalization Method in Games Theory. *Informatica* [online]. roč. 19, č. 2, s. 303–314. ISSN 08684952. Dostupné z: doi:10.1.1.473.8572

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras, Leonas USTINOVICHIOUS a Friedel PELDSCHUS, 2003. Development of software for multiple criteria evaluation. *Informatica* [online]. roč. 14, č. 2, s. 259–272. ISSN 0868-4952. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1413496>

Příloha A. Tabulky

Tabulka 3.A.1 Přehled normalizovaných hodnot sady X1 typ benefit

Metoda	1,00E+00	2,00E+00	3,00E+00	4,00E+00	5,00E+00	6,00E+00	7,00E+00	8,00E+00	9,00E+00	1,00E+01
Minkowski	5,10E-02	1,02E-01	1,53E-01	2,04E-01	2,55E-01	3,06E-01	3,57E-01	4,08E-01	4,59E-01	5,10E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E-01	2,00E-01	3,00E-01	4,00E-01	5,00E-01	6,00E-01	7,00E-01	8,00E-01	9,00E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	1,00E-01	2,00E-01	3,00E-01	4,00E-01	5,00E-01	6,00E-01	7,00E-01	8,00E-01	9,00E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,11E-01	2,22E-01	3,33E-01	4,44E-01	5,56E-01	6,67E-01	7,78E-01	8,89E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E-01	2,00E-01	3,00E-01	4,00E-01	5,00E-01	6,00E-01	7,00E-01	8,00E-01	9,00E-01	1,00E+00
Peldschus	1,00E-02	4,00E-02	9,00E-02	1,60E-01	2,50E-01	3,60E-01	4,90E-01	6,40E-01	8,10E-01	1,00E+00
NewLog	0,00E+00	4,59E-02	7,27E-02	9,18E-02	1,07E-01	1,19E-01	1,29E-01	1,38E-01	1,45E-01	1,52E-01
Jüttler-Millek	1,00E-01	2,00E-01	3,00E-01	4,00E-01	5,00E-01	6,00E-01	7,00E-01	8,00E-01	9,00E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.2 Přehled normalizovaných hodnot sady X1 typ cost

Metoda	1,00E+00	2,00E+00	3,00E+00	4,00E+00	5,00E+00	6,00E+00	7,00E+00	8,00E+00	9,00E+00	1,00E+01
Minkowski	9,49E-01	8,98E-01	8,47E-01	7,96E-01	7,45E-01	6,94E-01	6,43E-01	5,92E-01	5,41E-01	4,90E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	5,00E-01	3,33E-01	2,50E-01	2,00E-01	1,67E-01	1,43E-01	1,25E-01	1,11E-01	1,00E-01
van Delft-Nijkamp_v2	9,00E-01	8,00E-01	7,00E-01	6,00E-01	5,00E-01	4,00E-01	3,00E-01	2,00E-01	1,00E-01	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	8,89E-01	7,78E-01	6,67E-01	5,56E-01	4,44E-01	3,33E-01	2,22E-01	1,11E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	0,00E+00	-1,00E+00	-2,00E+00	-3,00E+00	-4,00E+00	-5,00E+00	-6,00E+00	-7,00E+00	-8,00E+00
Peldschus	1,00E+00	1,25E-01	3,70E-02	1,56E-02	8,00E-03	4,63E-03	2,92E-03	1,95E-03	1,37E-03	1,00E-03
NewLog	1,11E-01	1,06E-01	1,03E-01	1,01E-01	9,93E-02	9,79E-02	9,68E-02	9,58E-02	9,49E-02	9,42E-02
Jüttler-Millek	1,00E+00	9,00E-01	8,00E-01	7,00E-01	6,00E-01	5,00E-01	4,00E-01	3,00E-01	2,00E-01	1,00E-01

Tabulka 3.A.3 Přehled normalizovaných hodnot sady X2 typ benefit

Metoda	1,10E+01	1,20E+01	1,30E+01	1,40E+01	1,50E+01	1,60E+01	1,70E+01	1,80E+01	1,90E+01	2,00E+01
Minkowski	2,78E-02	3,04E-02	3,29E-02	3,54E-02	3,80E-02	4,05E-02	4,30E-02	4,56E-02	4,81E-02	5,06E-02
van Delft-Nijkamp	5,50E-01	6,00E-01	6,50E-01	7,00E-01	7,50E-01	8,00E-01	8,50E-01	9,00E-01	9,50E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	5,50E-01	6,00E-01	6,50E-01	7,00E-01	7,50E-01	8,00E-01	8,50E-01	9,00E-01	9,50E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,11E-01	2,22E-01	3,33E-01	4,44E-01	5,56E-01	6,67E-01	7,78E-01	8,89E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	5,50E-01	6,00E-01	6,50E-01	7,00E-01	7,50E-01	8,00E-01	8,50E-01	9,00E-01	9,50E-01	1,00E+00
Peldschus	3,03E-01	3,60E-01	4,23E-01	4,90E-01	5,63E-01	6,40E-01	7,23E-01	8,10E-01	9,03E-01	1,00E+00
NewLog	8,81E-02	9,13E-02	9,42E-02	9,69E-02	9,94E-02	1,02E-01	1,04E-01	1,06E-01	1,08E-01	1,10E-01
Jüttler-Millek	5,50E-01	6,00E-01	6,50E-01	7,00E-01	7,50E-01	8,00E-01	8,50E-01	9,00E-01	9,50E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.4 Přehled normalizovaných hodnot sady X2 typ cost

Metoda	1,10E+01	1,20E+01	1,30E+01	1,40E+01	1,50E+01	1,60E+01	1,70E+01	1,80E+01	1,90E+01	2,00E+01
Minkowski	9,72E-01	9,70E-01	9,67E-01	9,65E-01	9,62E-01	9,59E-01	9,57E-01	9,54E-01	9,52E-01	9,49E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	9,17E-01	8,46E-01	7,86E-01	7,33E-01	6,88E-01	6,47E-01	6,11E-01	5,79E-01	5,50E-01
van Delft-Nijkamp_v2	4,50E-01	4,00E-01	3,50E-01	3,00E-01	2,50E-01	2,00E-01	1,50E-01	1,00E-01	5,00E-02	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	8,89E-01	7,78E-01	6,67E-01	5,56E-01	4,44E-01	3,33E-01	2,22E-01	1,11E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	9,09E-01	8,18E-01	7,27E-01	6,36E-01	5,45E-01	4,55E-01	3,64E-01	2,73E-01	1,82E-01
Peldschus	1,00E+00	7,70E-01	6,06E-01	4,85E-01	3,94E-01	3,25E-01	2,71E-01	2,28E-01	1,94E-01	1,66E-01
NewLog	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,00E-01	1,00E-01	9,98E-02	9,96E-02	9,93E-02	9,91E-02	9,89E-02
Jüttler-Millek	1,00E+00	9,50E-01	9,00E-01	8,50E-01	8,00E-01	7,50E-01	7,00E-01	6,50E-01	6,00E-01	5,50E-01

Tabulka 3.A.5 Přehled normalizovaných hodnot sady X3 typ benefit

Metoda	1,01E+02	1,02E+02	1,03E+02	1,04E+02	1,05E+02	1,06E+02	1,07E+02	1,08E+02	1,09E+02	1,10E+02
Minkowski	3,03E-01	3,06E-01	3,09E-01	3,12E-01	3,15E-01	3,18E-01	3,21E-01	3,24E-01	3,27E-01	3,30E-01
van Delft-Nijkamp	9,18E-01	9,27E-01	9,36E-01	9,45E-01	9,55E-01	9,64E-01	9,73E-01	9,82E-01	9,91E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	9,18E-01	9,27E-01	9,36E-01	9,45E-01	9,55E-01	9,64E-01	9,73E-01	9,82E-01	9,91E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,11E-01	2,22E-01	3,33E-01	4,44E-01	5,56E-01	6,67E-01	7,78E-01	8,89E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	9,18E-01	9,27E-01	9,36E-01	9,45E-01	9,55E-01	9,64E-01	9,73E-01	9,82E-01	9,91E-01	1,00E+00
Peldschus	8,43E-01	8,60E-01	8,77E-01	8,94E-01	9,11E-01	9,29E-01	9,46E-01	9,64E-01	9,82E-01	1,00E+00
NewLog	9,91E-02	9,93E-02	9,95E-02	9,97E-02	9,99E-02	1,00E-01	1,00E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01
Jüttler-Millek	9,18E-01	9,27E-01	9,36E-01	9,45E-01	9,55E-01	9,64E-01	9,73E-01	9,82E-01	9,91E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.6 Přehled normalizovaných hodnot sady X3 typ cost

Metoda	1,01E+02	1,02E+02	1,03E+02	1,04E+02	1,05E+02	1,06E+02	1,07E+02	1,08E+02	1,09E+02	1,10E+02
Minkowski	6,97E-01	6,94E-01	6,91E-01	6,88E-01	6,85E-01	6,82E-01	6,79E-01	6,76E-01	6,73E-01	6,70E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	9,90E-01	9,81E-01	9,71E-01	9,62E-01	9,53E-01	9,44E-01	9,35E-01	9,27E-01	9,18E-01
van Delft-Nijkamp_v2	8,18E-02	7,27E-02	6,36E-02	5,45E-02	4,55E-02	3,64E-02	2,73E-02	1,82E-02	9,09E-03	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	8,89E-01	7,78E-01	6,67E-01	5,56E-01	4,44E-01	3,33E-01	2,22E-01	1,11E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	9,90E-01	9,80E-01	9,70E-01	9,60E-01	9,50E-01	9,41E-01	9,31E-01	9,21E-01	9,11E-01
Peldschus	1,00E+00	9,71E-01	9,43E-01	9,16E-01	8,90E-01	8,65E-01	8,41E-01	8,18E-01	7,96E-01	7,74E-01
NewLog	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	9,99E-02	9,99E-02	9,99E-02
Jüttler-Millek	1,00E+00	9,91E-01	9,82E-01	9,73E-01	9,64E-01	9,55E-01	9,45E-01	9,36E-01	9,27E-01	9,18E-01

Tabulka 3.A.7 Přehled normalizovaných hodnot sady X4 typ benefit

Metoda	1,05E+03	1,10E+03	1,15E+03	1,21E+03	1,26E+03	1,32E+03	1,37E+03	1,43E+03	1,49E+03	1,55E+03
Minkowski	2,55E-01	2,67E-01	2,80E-01	2,93E-01	3,06E-01	3,20E-01	3,33E-01	3,47E-01	3,61E-01	3,76E-01
van Delft-Nijkamp	6,78E-01	7,11E-01	7,45E-01	7,79E-01	8,15E-01	8,50E-01	8,87E-01	9,24E-01	9,62E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	6,78E-01	7,11E-01	7,45E-01	7,79E-01	8,15E-01	8,50E-01	8,87E-01	9,24E-01	9,62E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,03E-01	2,08E-01	3,15E-01	4,24E-01	5,36E-01	6,49E-01	7,64E-01	8,81E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	6,78E-01	7,11E-01	7,45E-01	7,79E-01	8,15E-01	8,50E-01	8,87E-01	9,24E-01	9,62E-01	1,00E+00
Peldschus	4,59E-01	5,05E-01	5,55E-01	6,07E-01	6,63E-01	7,23E-01	7,86E-01	8,54E-01	9,25E-01	1,00E+00
NewLog	9,72E-02	9,79E-02	9,85E-02	9,91E-02	9,98E-02	1,00E-01	1,01E-01	1,02E-01	1,02E-01	1,03E-01
Jüttler-Millek	6,78E-01	7,11E-01	7,45E-01	7,79E-01	8,15E-01	8,50E-01	8,87E-01	9,24E-01	9,62E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.8 Přehled normalizovaných hodnot sady X4 typ cost

Metoda	1,05E+03	1,10E+03	1,15E+03	1,21E+03	1,26E+03	1,32E+03	1,37E+03	1,43E+03	1,49E+03	1,55E+03
Minkowski	7,45E-01	7,33E-01	7,20E-01	7,07E-01	6,94E-01	6,80E-01	6,67E-01	6,53E-01	6,39E-01	6,24E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	9,53E-01	9,10E-01	8,70E-01	8,32E-01	7,97E-01	7,64E-01	7,34E-01	7,05E-01	6,78E-01
van Delft-Nijkamp_v2	3,22E-01	2,89E-01	2,55E-01	2,21E-01	1,85E-01	1,50E-01	1,13E-01	7,61E-02	3,84E-02	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	8,97E-01	7,92E-01	6,85E-01	5,76E-01	4,64E-01	3,51E-01	2,36E-01	1,19E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	9,51E-01	9,01E-01	8,50E-01	7,98E-01	7,45E-01	6,92E-01	6,37E-01	5,81E-01	5,25E-01
Peldschus	1,00E+00	8,66E-01	7,53E-01	6,58E-01	5,76E-01	5,06E-01	4,46E-01	3,95E-01	3,50E-01	3,11E-01
NewLog	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	9,99E-02	9,98E-02	9,98E-02	9,97E-02
Jüttler-Millek	1,00E+00	9,67E-01	9,33E-01	8,98E-01	8,63E-01	8,27E-01	7,91E-01	7,54E-01	7,16E-01	6,78E-01

Tabulka 3.A.9 Přehled normalizovaných hodnot sady X5 typ benefit

Metoda	1,00E+00	1,00E+01	1,00E+02	1,00E+03	1,00E+04	1,00E+05	1,00E+06	1,00E+07	1,00E+08	1,00E+09
Minkowski	9,95E-10	9,95E-09	9,95E-08	9,95E-07	9,95E-06	9,95E-05	9,95E-04	9,95E-03	9,95E-02	9,95E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E-09	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	1,00E-09	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	9,00E-09	9,90E-08	9,99E-07	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E-09	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Peldschus	1,00E-18	1,00E-16	1,00E-14	1,00E-12	1,00E-10	1,00E-08	1,00E-06	1,00E-04	1,00E-02	1,00E+00
NewLog	0,00E+00	2,22E-02	4,44E-02	6,67E-02	8,89E-02	1,11E-01	1,33E-01	1,56E-01	1,78E-01	2,00E-01
Jüttler-Millek	0,00E+00	9,00E-09	9,90E-08	9,99E-07	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.10 Přehled normalizovaných hodnot sady X5 typ cost

Metoda	1,00E+00	1,00E+01	1,00E+02	1,00E+03	1,00E+04	1,00E+05	1,00E+06	1,00E+07	1,00E+08	1,00E+09
Minkowski	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,01E-01	5,01E-03
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	1,00E-01	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-04	1,00E-05	1,00E-06	1,00E-07	1,00E-08	1,00E-09
van Delft-Nijkamp_v2	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Peldschus	1,00E+00	1,00E-03	1,00E-06	1,00E-09	1,00E-12	1,00E-15	1,00E-18	1,00E-21	1,00E-24	1,00E-27
NewLog	1,11E-01	1,09E-01	1,06E-01	1,04E-01	1,01E-01	9,88E-02	9,63E-02	9,38E-02	9,14E-02	8,89E-02
Jüttler-Millek	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	1,00E-09

Tabulka 3.A.11 Přehled normalizovaných hodnot sady X6 typ benefit

Metoda	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Minkowski	0,00E+00	9,95E-09	9,95E-08	9,95E-07	9,95E-06	9,95E-05	9,95E-04	9,95E-03	9,95E-02	9,95E-01
van Delft-Nijkamp	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Peldschus	0,00E+00	1,00E-16	1,00E-14	1,00E-12	1,00E-10	1,00E-08	1,00E-06	1,00E-04	1,00E-02	1,00E+00
NewLog	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Jüttler-Millek	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.12 Přehled normalizovaných hodnot sady X6 typ cost

Metoda	0,00E+00	1,00E-08	1,00E-07	1,00E-06	1,00E-05	1,00E-04	1,00E-03	1,00E-02	1,00E-01	1,00E+00
Minkowski	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,01E-01	5,01E-03
van Delft-Nijkamp	#DIV/0!	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00
Peldschus	#DIV/0!	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NewLog	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
Jüttler-Millek	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,99E-01	9,90E-01	9,00E-01	0,00E+00

Tabulka 3.A.13 Přehled normalizovaných hodnot sady X7 typ benefit

Metoda	2,00E-06	3,00E-06	4,00E-06	5,00E-06	6,00E-06	7,00E-06	8,00E-06	9,00E-06	1,00E-05	1,10E-05
Minkowski	8,90E-02	1,33E-01	1,78E-01	2,22E-01	2,67E-01	3,11E-01	3,56E-01	4,00E-01	4,45E-01	4,89E-01
van Delft-Nijkamp	1,82E-01	2,73E-01	3,64E-01	4,55E-01	5,45E-01	6,36E-01	7,27E-01	8,18E-01	9,09E-01	1,00E+00
van Delft-Nijkamp_v2	1,82E-01	2,73E-01	3,64E-01	4,55E-01	5,45E-01	6,36E-01	7,27E-01	8,18E-01	9,09E-01	1,00E+00
Weitendorf	0,00E+00	1,11E-01	2,22E-01	3,33E-01	4,44E-01	5,56E-01	6,67E-01	7,78E-01	8,89E-01	1,00E+00
Jüttler-Körth's	1,82E-01	2,73E-01	3,64E-01	4,55E-01	5,45E-01	6,36E-01	7,27E-01	8,18E-01	9,09E-01	1,00E+00
Peldschus	3,31E-02	7,44E-02	1,32E-01	2,07E-01	2,98E-01	4,05E-01	5,29E-01	6,69E-01	8,26E-01	1,00E+00
NewLog	1,09E-01	1,05E-01	1,03E-01	1,01E-01	9,97E-02	9,84E-02	9,73E-02	9,63E-02	9,54E-02	9,46E-02
Jüttler-Millek	1,82E-01	2,73E-01	3,64E-01	4,55E-01	5,45E-01	6,36E-01	7,27E-01	8,18E-01	9,09E-01	1,00E+00

Tabulka 3.A.14 Přehled normalizovaných hodnot sady X7 typ cost

Metoda	2,00E-06	3,00E-06	4,00E-06	5,00E-06	6,00E-06	7,00E-06	8,00E-06	9,00E-06	1,00E-05	1,10E-05
Minkowski	9,11E-01	8,67E-01	8,22E-01	7,78E-01	7,33E-01	6,89E-01	6,44E-01	6,00E-01	5,55E-01	5,11E-01
van Delft-Nijkamp	1,00E+00	6,67E-01	5,00E-01	4,00E-01	3,33E-01	2,86E-01	2,50E-01	2,22E-01	2,00E-01	1,82E-01
van Delft-Nijkamp_v2	8,18E-01	7,27E-01	6,36E-01	5,45E-01	4,55E-01	3,64E-01	2,73E-01	1,82E-01	9,09E-02	0,00E+00
Weitendorf	1,00E+00	8,89E-01	7,78E-01	6,67E-01	5,56E-01	4,44E-01	3,33E-01	2,22E-01	1,11E-01	0,00E+00
Jüttler-Körth's	8,18E-01	7,27E-01	6,36E-01	5,45E-01	4,55E-01	3,64E-01	2,73E-01	1,82E-01	9,09E-02	0,00E+00
Peldschus	1,00E+00	2,96E-01	1,25E-01	6,40E-02	3,70E-02	2,33E-02	1,56E-02	1,10E-02	8,00E-03	6,01E-03
NewLog	9,90E-02	9,94E-02	9,97E-02	9,99E-02	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,01E-01	1,01E-01
Jüttler-Millek	1,00E+00	9,09E-01	8,18E-01	7,27E-01	6,36E-01	5,45E-01	4,55E-01	3,64E-01	2,73E-01	1,82E-01

Tabulka 3.A.15 MCDM - TOPSIS (výsledná hodnota a pořadí)

Normalizace	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,4152	0,4657	0,6849	0,8947	1	2	3	4
van Delft-Nijkamp	0,3594	0,4873	0,7132	0,8624	1	2	3	4
van Delft-Nijkamp_v2	0,3768	0,4876	0,7310	0,8890	1	2	3	4
Weitendorf	0,5077	0,3001	0,7507	0,8390	2	1	3	4
Jüttler-Körth	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Jüttler-Millek	0,3768	0,4876	0,7310	0,8890	1	2	3	4

Poznámka: ve výsledné hodnotě i pořadí je vyšší hodnota lepší.

Tabulka 3.A.16 MCDM - SAW (výsledná hodnota a pořadí)

Normalizace	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,4470	0,3994	0,5621	0,6031	2	1	3	4
van Delft-Nijkamp	0,6903	0,6440	0,8770	0,9445	2	1	3	4
van Delft-Nijkamp_v2	0,2151	0,1618	0,4201	0,4789	2	1	3	4
Weitendorf	0,5152	0,1576	0,8172	0,9124	2	1	3	4
Jüttler-Körth	-Inf	-Inf	-Inf	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Jüttler-Millek	0,7038	0,6505	0,9088	0,9677	2	1	3	4

Poznámka: ve výsledné hodnotě i pořadí je vyšší hodnota lepší.

Tabulka 3.A.17 MCDM - WPM (výsledná hodnota a pořadí)

Normalizace	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,3417	0,0000	0,7358	1,0968	2	1	3	4
van Delft-Nijkamp	0,3358	0,0000	0,7592	1,1345	2	1	3	4
van Delft-Nijkamp_v2	0,3565	0,0000	0,8078	1,1878	2	1	3	4
Weitendorf	0,4273	0,0000	0,9579	1,3651	2	1	3	4
Jüttler-Körth	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1	1	1	1
Jüttler-Millek	0,3373	0,0000	0,7674	1,1385	2	1	3	4

Poznámka: ve výsledné hodnotě i pořadí je vyšší hodnota lepší.

Tabulka 3.A.18 Normalizované výsledné hodnoty jednotlivých metod MCDA

Normalizace	TOPSIS				SAW				WPM			
	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,464	0,521	0,765	1,000	0,741	0,662	0,932	1,000	0,312	0,000	0,671	1,000
van Delft-Nijkamp	0,417	0,565	0,827	1,000	0,731	0,682	0,929	1,000	0,296	0,000	0,669	1,000
van Delft-Nijkamp_v2	0,424	0,548	0,822	1,000	0,449	0,338	0,877	1,000	0,300	0,000	0,680	1,000
Weitendorf	0,605	0,358	0,895	1,000	0,565	0,173	0,896	1,000	0,313	0,000	0,702	1,000
Jüttler-Körth	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0	#DIV/0
Jüttler-Millek	0,424	0,548	0,822	1,000	0,727	0,672	0,939	1,000	0,296	0,000	0,674	1,000

Poznámka: ve výsledné hodnotě i pořadí je vyšší hodnota lepší.

Tabulka 3.A.19 Normalizace HTA dat metodou Minkowski

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	0,58051	0,73822	0,64648	0,65583	0,86331	0,57735	1	0,58835	0,61543
2	0,5673	0,56869	0,54287	0,5758	0,5417	0,57735	0,85256	0,58835	0,49644
3	0,55336	0,38949	0,42291	0,40772	0,44251	0,57735	0,55767	0,39223	0,439
4	0,3387	0,38949	0,42291	0,40772	0,32141	0	0,11535	0,39223	0,4267

Tabulka 3.A.20 Normalizace HTA dat metodou van Delft-Nijkamp

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
2	0,96946	0,60694	0,77333	0,81132	0,29826	1	0	1	0,80667
3	0,93921	0,42879	0,61259	0,58108	0,24519	1	0	0,66667	0,71333
4	0,63434	0,42879	0,61259	0,58108	0,20143	0	0	0,66667	0,69333

Tabulka 3.A.21 Normalizace HTA dat metodou van Delft-Nijkamp ver 2

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	0,36566	0,57121	0,38741	0,41892	0,79857	1	1	1	1
2	0,34568	0,29352	0,20786	0,28378	0,32463	1	0,83333	1	0,80667
3	0,3246	0	0	0	0,17846	1	0,5	0,66667	0,71333
4	0	0	0	0	0	0	0	0,66667	0,69333

Tabulka 3.A.22 Normalizace HTA dat metodou Weitendorf

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0,94536	0,51385	0,53653	0,67742	0,40652	1	0,83333	1	0,36957
3	0,88772	0	0	0	0,22348	1	0,5	0	0,06522
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 3.A.23 Normalizace HTA dat metodou Jüttler-Körth

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	1	1	1	1	1	1	NaN	1	1
2	0,9685	0,35238	0,7069	0,76744	-1,3528	1	-Inf	1	0,80667
3	0,93528	-0,33214	0,36759	0,27907	-2,07845	1	-Inf	0,66667	0,71333
4	0,42357	-0,33214	0,36759	0,27907	-2,96441	0	-Inf	0,66667	0,69333

Tabulka 3.A.24 Normalizace HTA dat metodou Jüttler-Millek

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0,98002	0,72231	0,82045	0,86486	0,52607	1	0,83333	1	0,80667
3	0,95894	0,42879	0,61259	0,58108	0,3799	1	0,5	0,66667	0,71333
4	0,63434	0,42879	0,61259	0,58108	0,20143	0	0	0,66667	0,69333

Tabulka 3.A.25 Normalizace jednotlivých kritérií 1-3

Normalizace	Kritérium 1				Kritérium 2				Kritérium 3			
	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,5805	0,3387	0,5534	0,5673	0,3895	0,3895	0,5687	0,7382	0,4229	0,4229	0,6465	0,5429
van Delft-Nijkamp	1,0000	0,6343	0,9392	0,9695	0,4288	0,4288	0,6069	1,0000	0,6126	0,6126	1,0000	0,7733
van Delft-Nijkamp_v2	0,3657	0,0000	0,3246	0,3457	0,0000	0,0000	0,2935	0,5712	0,0000	0,0000	0,3874	0,2079
Weitendorf	1,0000	0,0000	0,8877	0,9454	0,0000	0,0000	0,5139	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,5365
Jüttler-Körth	1,0000	0,4236	0,9353	0,9685	-0,3321	-0,3321	0,3524	1,0000	0,3676	0,3676	1,0000	0,7069
Jüttler-Millek	1,0000	0,6343	0,9589	0,9800	0,4288	0,4288	0,7223	1,0000	0,6126	0,6126	1,0000	0,8204

Tabulka 3.A.26 Normalizace jednotlivých kritérií 4-6

Normalizace	Kritérium 4				Kritérium 5				Kritérium 6			
	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,4077	0,4077	0,5758	0,6558	0,4425	0,3214	0,5417	0,8633	0,0000	0,5774	0,5774	0,5774
van Delft-Nijkamp	0,5811	0,5811	0,8113	1,0000	0,2452	0,2014	0,2983	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
van Delft-Nijkamp_v2	0,0000	0,0000	0,2838	0,4189	0,1785	0,0000	0,3246	0,7986	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Weitendorf	0,0000	0,0000	0,6774	1,0000	0,2235	0,0000	0,4065	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Jüttler-Körth	0,2791	0,2791	0,7674	1,0000	-2,0785	-2,9644	-1,3528	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Jüttler-Millek	0,5811	0,5811	0,8649	1,0000	0,3799	0,2014	0,5261	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tabulka 3.A.27 Normalizace jednotlivých kritérií 7-9

Normalizace	Kritérium 7				Kritérium 8				Kritérium 9			
	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea	Evita 4	Evita XL	Galileo	Avea
vektorová	0,8526	0,5577	0,1153	1,0000	0,3922	0,3922	0,5883	0,5883	0,4267	0,6154	0,4390	0,4964
van Delft-Nijkamp	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6667	0,6667	1,0000	1,0000	0,6933	1,0000	0,7133	0,8067
van Delft-Nijkamp_v2	0,8333	0,5000	0,0000	1,0000	0,6667	0,6667	1,0000	1,0000	0,6933	1,0000	0,7133	0,8067
Weitendorf	0,8333	0,5000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0652	0,3696
Jüttler-Körth	-Inf	-Inf	-Inf	NaN	0,6667	0,6667	1,0000	1,0000	0,6933	1,0000	0,7133	0,8067
Jüttler-Millek	0,8333	0,5000	0,0000	1,0000	0,6667	0,6667	1,0000	1,0000	0,6933	1,0000	0,7133	0,8067

Tabulka 3.A.28 Toleranční meze váhové citlivostní analýzy TOPSIS

Kritérium	Minkowski		van Delft-Nijkamp		van Delft-Nijkamp_v2		Weitendorf		Jüttler-Körth		Jüttler-Millek	
	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez
Kr_1	0,3276	0,5205	0,2705	0,5498	0,2432	0,5454	0,4453	0,8335	0,0005	0,9995	0,2432	0,5454
Kr_2	0,0759	0,9991	0,0950	0,9991	0,0866	0,9991	0,0935	0,9991	0,0001	0,9991	0,0866	0,9991
Kr_3	0,0461	0,1462	0,0603	0,1226	0,0544	0,1313	0,0841	0,1120	0,0001	0,9991	0,0544	0,1313
Kr_4	0,0430	0,9991	0,0599	0,9991	0,0510	0,9991	0,0818	0,9991	0,0001	0,9991	0,0510	0,9991
Kr_5	0,0183	0,0216	0,0000	0,0963	0,0186	0,0264	0,0184	0,9990	0,0000	0,9990	0,0186	0,0264
Kr_6	0,0001	0,9992	0,0001	0,9992	0,0001	0,9992	0,1076	0,1492	0,0001	0,9992	0,0001	0,9992
Kr_7	0,0123	0,0130	0,0000	0,9990	0,0117	0,0140	0,0127	0,0149	0,0000	0,9990	0,0117	0,0140
Kr_8	0,0000	0,9990	0,0017	0,9990	0,0000	0,9990	0,0051	0,9990	0,0000	0,9990	0,0000	0,9990
Kr_9	0,0166	0,0283	0,0154	0,0283	0,0158	0,0283	0,0146	0,0226	0,0000	0,9990	0,0158	0,0283

Tabulka 3.A.29 Citlivostní analýza min/max pro metodu TOPSIS

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
cost/benefit	C	c	c	c	c	b	c	b	b
max	1100000	19590	9468	7400	622050		12		
min						0		2	10,4
Minkowski	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp ver 2	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997
Weitendorf	765 256,3	13 845,6	7 746,0	5 302,1	511 146,4	0,9990	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Körth	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Millek	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997

Tabulka 3.A.30 Citlivostní analýza min/max pro metodu SAW

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
cost/benefit	c	c	c	c	c	b	c	b	b
max	1100000	19590	9468	7400	622050		12		
min						0		2	10,4
Minkowski	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp ver 2	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
Weitendorf	765 256,3	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,9990	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Körth	743 288,7	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Millek	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997

Tabulka 3.A.31 Citlivostní analýza min/max pro metodu WPM

Pořadí	kritérium 1	kritérium 2	kritérium 3	kritérium 4	kritérium 5	kritérium 6	kritérium 7	kritérium 8	kritérium 9
cost/benefit	c	c	c	c	c	b	c	b	b
max	1100000	19590	9468	7400	622050		12		
min						0		2	10,4
Minkowski	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
van Delft-Nijkamp ver 2	921 470,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
Weitendorf	754 098,1	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,9990	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Körth	754 098,1	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997
Jüttler-Millek	1 100 000,0	13 845,6	7 501,9	5 302,1	511 146,4	0,99902	6,0059	2,9990	10,6997

Tabulka 3.A.32 Experimentální statistická analýza

	\bar{X}	SD	SE	M	Q25	Q75	CI_L	CI_H
Kr_1	815 118	190 814	95 407	731 348	708 766	921 470	511 490	1 118 746
Kr_2	15 355	5 371	2 685	16 715	11 120	19 590	6 809	23 901
Kr_3	8 059	1 769	884	8 484	6 650	9 468	5 244	10 874
Kr_4	6 100	1 556	778	6 350	4 800	7 400	3 625	8 575
Kr_5	419 626	212 884	106 442	465 575	272 707	566 544	80 880	758 371
Kr_6	0,750	0,500	0,250	1	0,5	1	-0,046	1,546
Kr_7	5,000	5,292	2,646	4	1	9	-3,420	13,420
Kr_8	2,500	0,577	0,289	2,5	2	3	1,581	3,419
Kr_9	12,050	2,102	1,051	11,400	10,550	13,550	8,706	15,394

Příloha B. Obsah přiloženého CD

- 1) klíčová slova čj
- 2) klíčová slova aj
- 3) abstrakt česky
- 4) abstrakt anglicky
- 5) naskenované zadání diplomové práce
- 6) kompletní diplomová práce